

혼변조 신호 개별 차수 조정 Predistortion 선형화기 설계

정용재, 장익수*, 윤상원*, 김철동, 강원태**
 (삼성전자, *서강대학교 전자공학과, **한국통신기술)

Design of Predistortion Linearizer by Individual Order
 Control of Intermodulation Distortion Signals

Y. C. Jeong, I. S. Chang, S. W. Yun, C. D. Kim, W. T. Kang
 SAMSUNG Electronics, Dept. of Electronics Engineering, Sogang University, KTI

Abstract

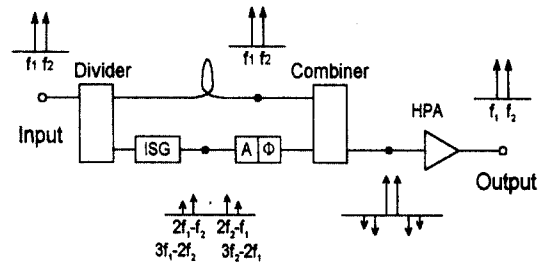
HPA(High Power Amplifier) has nonlinear characteristics - AM to AM, AM to PM, or IMD(Intermodulation Distortion). In this paper, predistortion linearizer which controls individual order of intermodulation distortion signals. This type of predistortion linearizer has improved the C/I(Carrier to Intermodulation) ratio well.

1. 서론

농동 소자를 이용하는 모든 RF 및 M/W 회로에서는 소자의 비선형 특성에 따른 비선형 회로 특성을 갖는다. 특히 대전력 증폭기는 최대 전력까지 증폭할 수 있도록 비선형 특성을 갖는 포화 영역부근에서 동작시키게 된다. 대전력 증폭기에 단일 주파수 성분을 갖는 반송파 신호가 입력될 경우 입력 신호 진폭의 증가에 따른 출력 신호 진폭 증가율의 감소를 가져오는 AM-to-AM 효과와 위상의 지연을 가져오는 AM-to-PM 효과가 발생한다. 또한 두 개 이상의 주파수 성분을 갖는 반송파 신호들이 입력될 경우 비선형 전달 특성에 의해서 반송파 출력 신호외에 혼변조 신호 성분들이 생기는데 이 혼변조 신호들은 출력 반송파 신호에 혼신(cross-talk) 또는 잡음(noise)로써 동작하게 된다. 현재까지 위성 중계기용, 위성 지구국용, 이동통신 지구국용 대전력 증폭기를 선형화하는 방법으로써 출력 전력의 back-off와 Feedforward, Negative-Feedback, Predistortion 방식의 선형화기를 이용하는 방법이 있다.

II. 본론

Predistortion 방식의 선형화기는 입력 RF 신호가 대전력 증폭기에서 만들 왜곡 성분을 고려하여 이것과 역의 왜곡 성분을 갖는 Predistoritor를 미리 대전력 증폭기의 입력측에 부가하여 대전력 증폭기의 출력단에서의 왜곡 성분을 상쇄하는 방식이다. 그림 1은 일반적으로 많이 사용되는 Predistortion 선형화 방식을 보이고 있고, Predistoritor에서 역왜곡 발생 소자로 많이 쓰이는 것은 Schottky 다이오드^[1], MESFET^{[2][3]} 등이 있다.



ISG : Intermodulation Signal Generator

A : Attenuator

Φ : Phase Shifter

그림 1. 일반적인 Predistortion 선형화기

일반적인 Predistortion 선형화기의 경우 대전력 증폭기의 비선형 왜곡 특성에 대해 정확히 역왜곡 특성을 구현하는 작업은 매우 힘든 것이 보통이다. 또한 가입자의 이용 정도에 따라 출력 레벨이 변하는 이동통신 기지국의 경우 출력 동작 범위(output dynamic range)의 전 범위에서 대전력 증폭기의 비선형 왜곡 특성을 선형화하는 것은 더욱 힘들게 된다.

본 논문에서는 대전력 증폭기의 입출력 비선형 전달 특성을 Volterra series로 분석할 때 차수(order)별 입출력 전달 특성이 틀린 것에 근거하여 predistortion 선형화기에서 혼변조 신호들을 차수별로 발생시키고 그 진폭과 위상을 독립적으로 조정하는 방법을 제시하였다(그림 2)^[4]. 대전력 증폭기의 입출력 전달 함수는 차수마다 틀리고 또한 입력 전력 레벨에 따라서도 틀린다. 따라서 대전력 증폭기의 비선형 왜곡 특성에 역왜곡 특성을 만들어 주는 pre-distortion 선형화기 역시 차수마다 또한 입력 전력 레벨마다 다른 혼변조 신호를 만들어주어야 한다. 그러나 혼변조 신호들의 개별 전달 함수 특성이 틀리에도 불구하고 동일한 혼변조 신호로 대전력 증폭기를 선형화한다면 선형화 개선 효과가 작을 것이다.

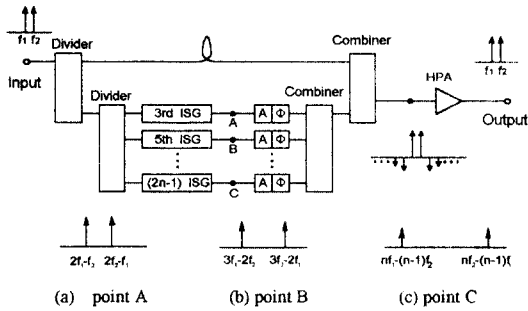


그림 2. 혼변조 신호 개별 차수 조정 predistortion 선형화기

혼변조 신호 개별 차수 조정 predistortion 선형화기는 혼변조 신호를 독립적으로 발생시키고 그 진폭과 위상을 다른 차수와 독립적으로 조정하므로 대전력 증폭기의 비선형 왜곡 특성에 대한 역왜곡 특성을 비교적 정확히 구현할 수 있으며, 출력 동작 범위에서 대전력 증폭기의 비선형 왜곡 특성이 변한다고 할지라도 효과적인 역왜곡 특성을 구현할 수 있게 된다.

III. 제작 및 실험 결과

선형화기의 제작 실험을 위해 사용되어진 대전력 증폭기는 삼성전사에서 제작한 5W 급 증폭기이다. 주파수 대역은 PACS 규격 기저국 송신대역인 1930.1 ~ 1989.9 MHz 이고, 이득은 56.3 dB, 반사 계수 특성은 -16dB 이하이고, 반사 및 전달 특성은 그림 3에 나타났다.

본 논문에서 혼변조 신호 차수 조정에 의한 predistortion 방법이 더 효과적인 선형화 방법임을 보이기 위해 3차 혼변조 신호만을 발생시키는 3차 혼변조 신호 발생기와 3차 혼변조 신호를 제외한 모든 혼변조 신호를 발생시키는 5차 혼변조 신호 발생기를 제작하였다. 3차 혼변조 신호 발생기는 3차 혼변조 신호를 효과적으로 발생시키는 증폭기와 순수 반송파 신호를 합성하여 제작하였는데 그림 4는 그 출력 특성을 보이고 있다. 5차 혼변조 신호 발생기는 모든 차수의 혼변조 신호를 발생시키는 혼변조 발생기와 3차 혼변조 신호를 합성하여 제작하였는데 그림 5는 그 출력 특성을 보이고 있다.

그림 1에서 제시한 일반적인 predistortor와 본 논문에서 제시한 3차 및 5차 혼변조 신호 개별 조정 predistortor를 각각 대전력 증폭기에 부착하였는데 그림 6은 $P_o=27.85\text{dBm/ tone}$ 일 때 대전력 증폭기의 출력 특성으로 $(C/I)_{3rd}=32.72\text{dBc}$ 이고, 그림 7은 일반적인 predistortor를 사용한 경우의 대전력 증폭기 출력 특성으로 $P_o=27.7\text{ dBm/ tone}$ 일 때 $(C/I)_{3rd}=40.32\text{dBc}$ 이고, 그림 8은 3차 및 5차 혼변조 신호 개별 조정 predistortor를 사용한 경우의 대전력 증폭기의 출력 특성으로 $P_o=27.62\text{ dBm/ tone}$ 일 때 $(C/I)_{3rd}=51.77\text{dBc}$ 이다. 일반적인 predistortor의 경우 7.6dB 선형화 개선 효과가 있고 본 논문에서 제시한 선형화기는 19dB의

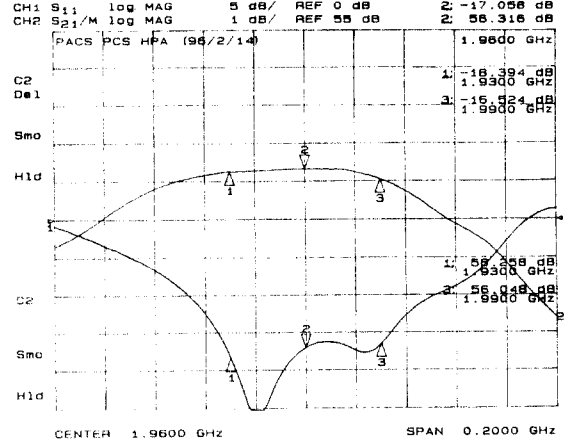


그림 3. 대전력 증폭기의 반사 및 전달 계수 특성

선형화 개선 효과가 있음을 볼 수 있다.

그림 9는 $P_o=24.62\text{dBm/ tone}$ 일 때 대전력 증폭기의 출력 특성으로 $(C/I)_{3rd}=39.77\text{dBc}$ 이다. 그림 10은 일반적인 predistortor를 사용한 대전력 증폭기의 출력 특성으로 $P_o=24.5\text{ dBm/ tone}$ 일 때 $(C/I)_{3rd}=53.37\text{dBc}$ 이고 그림 11은 3차 및 5차 혼변조 개별 신호 조정 predistortor를 사용한 경우로 $P_o=27.62\text{ dBm/ tone}$ 일 때 $(C/I)_{3rd}=61.25\text{dBc}$ 이다. 일반적인 predistortor의 경우 13.6dB 선형화 개선 효과가 있고, 본 논문에서 제시한 선형화기는 21.48dB의 선형화 개선 효과가 있다.

IV. 결론

본 논문에서는 혼변조 신호를 개별 차수 별로 발생, 조정된 predistortion 방식의 선형화기를 설계 제작하여 대전력 증폭기의 비선형 특성을 개선하는 효과가 탁월함을 보였다. 본 논문에서 제시하는 선형화기는 소형, 경량이면서 많은 선형화 효과를 얻을 수 있고 출력 레벨이 동작 범위를 갖는 이동통신 기저국용 대전력 증폭기에도 적용할 수 있을 것이다.

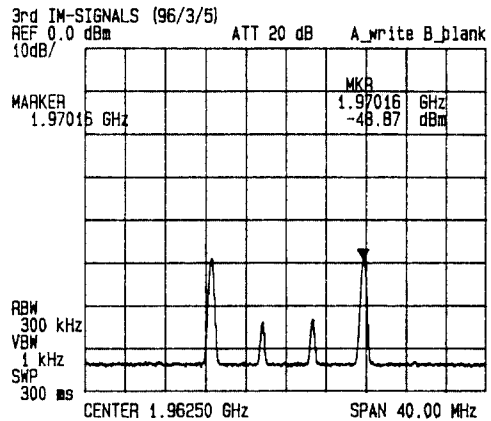


그림 4. 제작된 3차 혼변조 신호 특성

혼변조 신호 개별 차수 조정 Predistortion 선형화기 설계

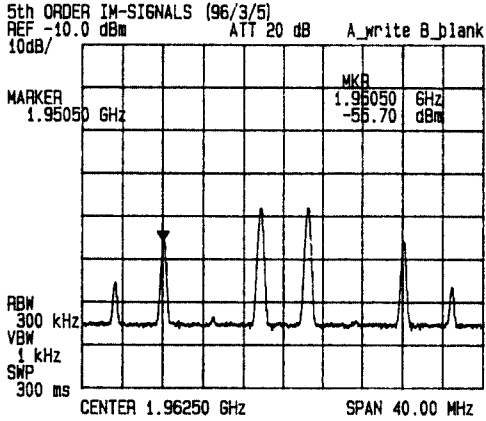


그림 5. 제작된 5차 혼변조 신호 특성

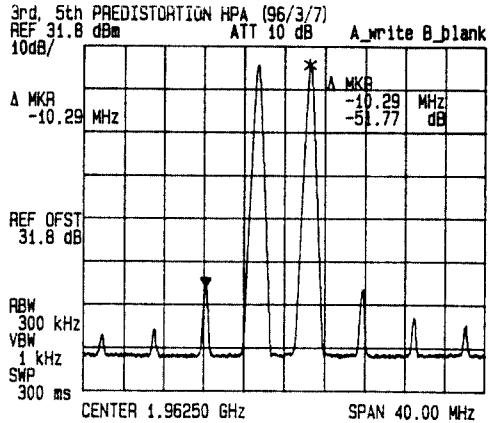


그림 8. 혼변조 신호 개별 차수 조정 선형화기를 사용한 대전력 증폭기의 특성 ($P_o=27.62\text{dBm/}\text{tone}$)

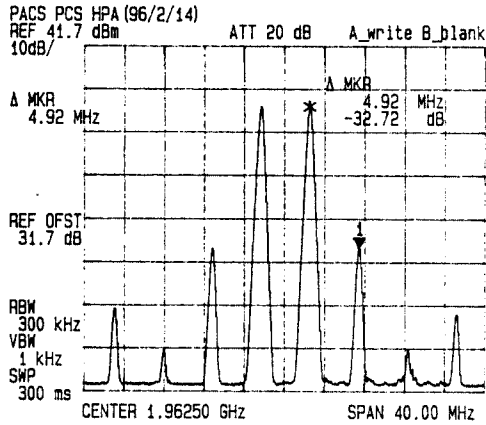


그림 6. 대전력 증폭기 특성($P_o=27.85\text{dBm/}\text{tone}$)

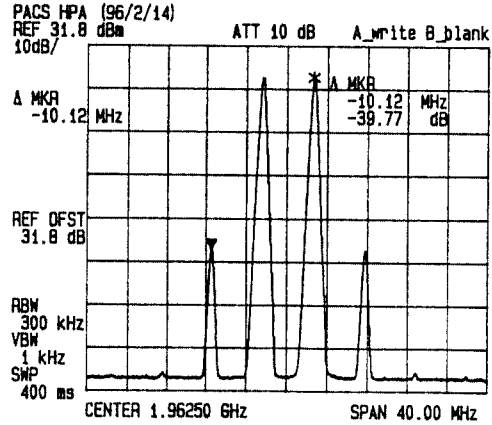


그림 9. 대전력 증폭기의 특성($P_o=24.62\text{dBm/}\text{tone}$)

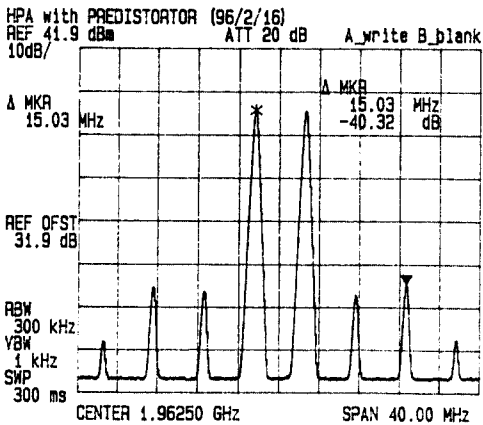


그림 7. 일반적 선형화기를 사용한 대전력 증폭기의 특성 ($P_o=27.7\text{Bm/}\text{tone}$)

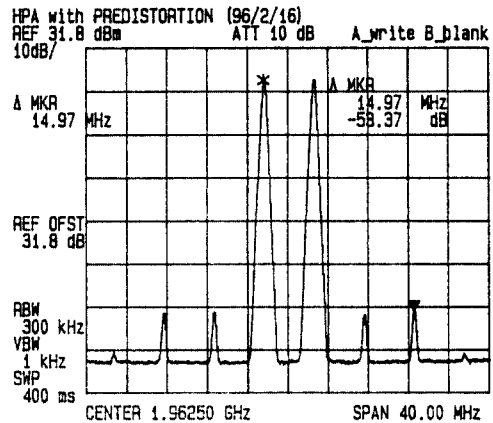


그림 7. 일반적 선형화기를 사용한 대전력 증폭기의 특성 ($P_o=24.5\text{Bm/}\text{tone}$)

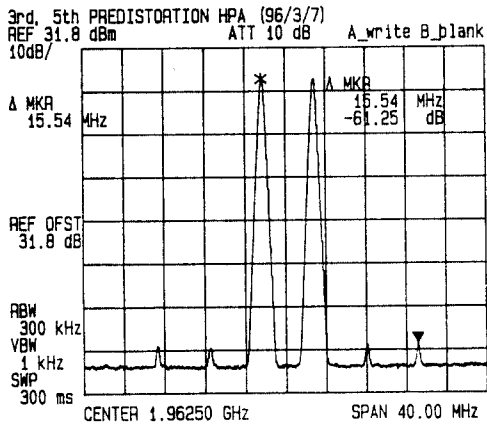


그림 8. 혼변조 신호 개별 차수 조정 선형화기를 사용한
 대전력 증폭기의 특성 ($P_o=24.65\text{dBm/}\text{tone}$)

참고문헌

[1] F. Perez, E. Ballesteros, J. Peres, "Linearization of Microwave Amplifiers using Active Feedback Network," Electronics Letters, Vol.21, No.1, pp.9-10, Jan.1985.

[2] Mahesh Kumar, James C. Whartenby, Herbert J. Wolkstein, "Predistortion Linearizer Using GaAs Dual Gate MESFET for TWTA and SSPA Used in Satellite Transponders," IEEE Trans. Vol. MTT-33, No.12, pp.1479-1488, Dec. 1985.

[3] Gunkichi Satoh, Toshio, "Impact of a new TWTA Linearizer Upon QPSK/TDMA Transmission Performance," IEEE Journal of Selected Areas in Comm. Vol. Sac-1, No.1, pp.39-45, 1983.

[4] Tri T. Ha, Solid-State Microwave Amplifier Design, John Wiley and Sons, 1981, pp.202-248.