

Feedforward 방식을 이용한 PCS용 Predistorter의 설계 및 제작

최현주, 박명석, 박천석
성균관대학교 전기 전자 및 컴퓨터 공학부
전화 : 031-290-7203 / 핸드폰 : 018-285-8850

Design and Fabrication of Predistorter for PCS Using Feedforward Method

Hyun-Joo Choi, Mung-Seok Park, Cheon-Seok Park
Dept. of Electrical and Computer Engineering, Sungkyunkwan University
E-mail : wisetree@mwlab.skku.ac.kr

Abstract

In this paper, predistorter for PCS has been designed and fabricated. In predistorter system IMD signal generator was very important element. In this LPA IMD signal generator was fabricated using main signal cancellation and error signal cancellation of feedforward method and two amplifier that had same IMD characteristics. This LPA showed IMD characteristics of 52dBc operation in 48dBm(60W) and made 12dB IMD characteristic improvement when it was excited by two tone. In this LPA, to make more IMD characteristic improvement the IMD characteristic resemblance between main amplifier and predistortion amplifier is very important.

I. 서론

현재 통신 기술은 유선에서 시작하여 무선 통신 기술로 발전되고, 아날로그 방식에서 디지털 방식으로 바뀌고 있다. 이러한 디지털 통신방식은 CDMA나 QAM같은 변조 형태를 사용함으로써 선형증폭기의 필요성이 강력히 요구되고 있다. 또한 WLL이나 IMT-2000 등과 같은 멀티미디어 통신 시 더욱 필요한 요소가 되고 있다. 이러한 통신 시스템에서 사용되는

대전력 증폭기는 최대 전력 효율을 얻기 위하여 포화 영역 근처까지 증폭기를 동작시키고 이 부분에서는 비선형 특성이 강해서 IMD가 발생하고 이 IMD는 다 채널의 잡음원이 된다. 이러한 고출력 증폭기의 비선형 특성 및 왜곡에 대한 여러 가지 개선 방법이 연구 및 개발되어 왔다.

현재 가장 많이 사용되고 있는 선형화 기법으로는 Feedforward[1] 기법과 Predistortion[2]~[5] 기법이 있는데, 본 논문에서는 Predistorter 방식을 사용하였다. Predistorter의 일부 회로 중 IMD 신호 발생기는 선형화기를 설계하기 위한 핵심회로인데, 본 논문에서는 이러한 IMD 신호를 발생시키는데, IMD 발생 특성이 비슷한 두 개의 Amp와 Feedforward 방식의 Main Carrier 제거와 Error 신호 제거를 이용함으로써 Feedforward 방식과 Predistorter 방식의 장점을 결합시키려고 노력하였다.

II. Feedforward 방식을 이용한 PCS용 Predistorter의 설계

2.1 Feedforward 방식을 이용한 PCS용 Predistorter의 구조

Predistortion 방식은 선형화시킬 전력증폭기의 비선

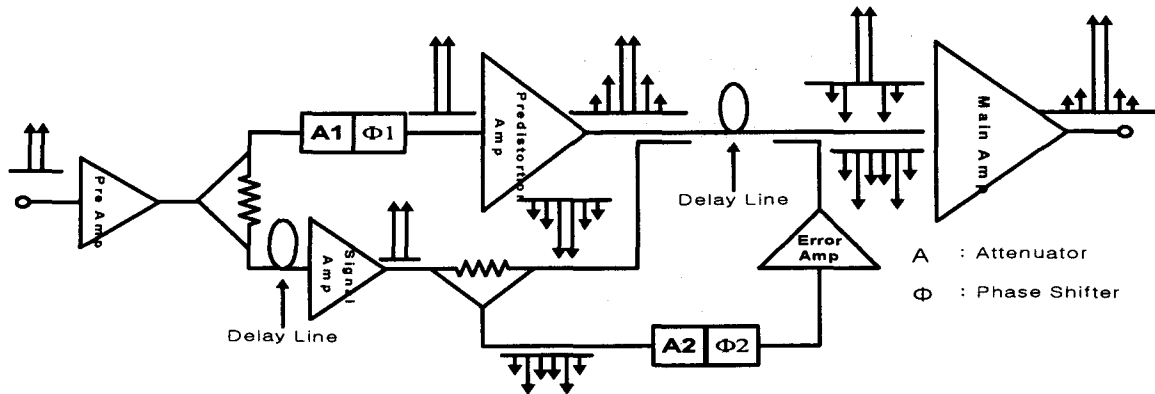


그림 1. Feedforward 방식을 이용한 Predistorter의 개략도.

형성을 조사하여 입력단에 전력증폭기에서 발생할 IMD 신호와 역상의 IMD 신호를 인가하여 IMD 신호를 제거하는 방식이다. 이 방식은 선형화 정도가 작고 대역폭이 좁다는 단점이 있지만 회로의 구조가 간단하여 소형, 경량의 장점이 있다. 기존의 Predistorter에서는 IMD 신호를 발생시키기 위해서 Diode[2]~[4], 또는 Mixer[5]를 사용하였다. 이렇게 만들어진 IMD 신호는 Main Amp의 특성과는 무관하게 제작되었다. 따라서 본 논문에서는 IMD 신호를 발생시키는데 있어서 Main Amp와 특성이 유사한 동종의 증폭기, 즉 Predistortion Amp를 Main Amp 전단에 사용하여 Feedforward 방식을 응용하였다.

위의 그림 1은 Feedforward 방식을 이용한 Predistorter의 개략도를 보여준다. 입력된 신호는 Pre Amp를 통하여 증폭된 후 Wilkinson 전력 분배기에 의해 분배되고 하나는 Variable Attenuator(A1)와 Phase Shifter($\Phi 1$), 그리고 Predistortion Amp를 통과하여 IMD 신호를 발생시키고, 다른 하나는 Delay line과 선형성이 큰 Signal Amp를 지난다. Predistortion Amp를 통과한 신호 중 일부가 Coupler를 통과하여 Delay line과 Signal Amp를 통과한 신호와 180도 위상차를 가지고 결합되어 Main Carrier를 상쇄시킨다. 이때 크기와 위상은 A1과 $\Phi 1$ 을 통하여 제어된다. Main Carrier가 상쇄된 IMD 신호(Error Signal)는 Variable Attenuator(A2)와 Phase Shifter($\Phi 2$)를 지나 Error Amp를 통하여 증폭되고, 이 신호는 Predistortion Amp와 Delay line를 통과한 신호와 Coupler를 통하여 Main Carrier는 감쇠 없이 통과하고 IMD 신호만 180도 위상차를 가지고 결합되어 Predistortion된 신호를 발생시킨다. 이 Predistortion된 신호는 Variable Attenuator(A2)과 Phase Shifter($\Phi 2$)를 통하여 제어되고 Main Amp로 입력되어 비선형 특성을 개선시킨다.

2.2 각 소자의 구성

다음 표1은 각 단계에 사용된 Amp의 Spec.을 보여준다.

	Amp의 종류	Gain (dB)	P1dB (dBm)
Pre Amp	AH1	11.5	21
Signal Amp	MHL19338	30	36
Predistortion Amp	MHL19338	30	36
	MRF19060	12.5	48
Error Amp	NGA-589	19	18.5
	AH1	11.5	21
Main Amp	MHL19338	30	36
	MRF19125	12.75	51

표 1. 각 단계별 Amp Spec.

Predistortion Amp는 MHL19338과 MRF19060을 직렬로 연결하였고, Main Amp는 MRF19125 두개를 90도 Hybrid Coupler를 이용하여 병렬로 연결하였다.

Vector Modulator는 Variable Attenuator와 Phase Shifter를 직렬로 연결하여 사용하였다. Variable Attenuator는 90도 Hybrid Coupler와 PIN Diode를 이용하였고, Insertion Loss는 약 2dB 정도이고 10dB 정도의 가변 범위를 갖는다. Phase Shifter는 Varactor Diode를 이용하여 같은 방법으로 제작하였고, Insertion Loss는 약 2dB 정도이고, 가변 범위는 80도이다.

III. Feedforward 방식을 이용한 PCS용 Predistorter의 성능 측정 결과

실험 시 사용한 신호 발생기는 HP사의 8340B

Synthesized Sweeper와 E4421B ESG Series Signal Generator를 사용하였고, Spectrum Analyser는 HP사의 8564E Spectrum Analyser를 사용하였고, Power Meter는 HP사의 EPM Series Power Meter를 사용하였다. 출력 과형은 그림 2에 나타난 것처럼 최종 출력이 29dB Coupler를 통과하고 Spectrum Analyser와 GPIB 카드를 사용하여 HP-ADS를 통해서 얻어냈다. 최종출력의 측정은 30dB Attenuator를 통과시켜 HP사의 EPM Series Power Meter를 사용하였다. 주파수는 PCS 대역인 1.885GHz와 1.856GHz를 사용하였다.

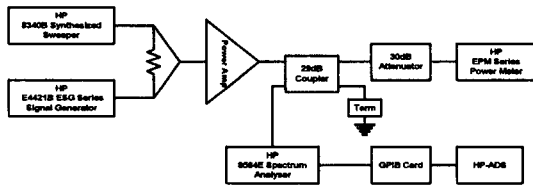


그림 2. 측정 세트

3.1 Predistorter를 사용하기 전의 특성

본 논문에서 Main Amp와 Predistortion Amp가 비슷한 IMD 특성을 갖는다는 것을 가정하였다. 여기서 Main Amp를 고정시킨 상태에서 Predistortion Amp의 특성을 Gate Bias를 조절하여 바꾸어 가면서 최종 출력에서의 비선형 특성의 개선 정도를 측정하여 비교하였다. 즉, Gate Bias를 조절하여 Predistortion Amp에서 3차 IMD가 5차 IMD보다 크게 발생하였을 때, 3차 IMD와 5차 IMD가 비슷하게 발생하였을 때, 그리고 5차 IMD가 3차 IMD보다 크게 발생하였을 때를 나누어 Main Amp의 출력을 측정하고, Predistorter를 사용하여 Main Amp의 출력을 측정함으로써 각 경우를 선형화 정도를 비교하였다.

먼저 그림 3은 Predistorter를 사용하지 않은 상태에서 Predistortion Amp의 3차 IMD가 5차 IMD보다 크게 발생하였을 때의 Main Amp의 출력을 보여준다. 그림 4와 그림 5는 3차 IMD와 5차 IMD가 비슷하게 발생하였을 때, 그리고 5차 IMD가 3차 IMD보다 크게 발생하였을 때를 출력을 각각 보여준다. 그림에서 보는 바와 같이 3차 IMD가 크게 발생했을 경우는 최종 출력에서 3차가 역시 크게 발생하지만 3차 IMD와 5차 IMD가 비슷하게 발생한 경우와 5차 IMD가 3차 IMD보다 크게 발생한 경우는 정확하게 구별이 되지 않고 있다. 그 원인은 45dBm/tone이라는 고출력이 발생되어 Main Amp 내에서 자체적으로 발생하는 IMD의 영향이 크게 때문일 것이다. 지금 까지 Predistorter를 사용하지 않았을 때의 출력을 살펴보았다.

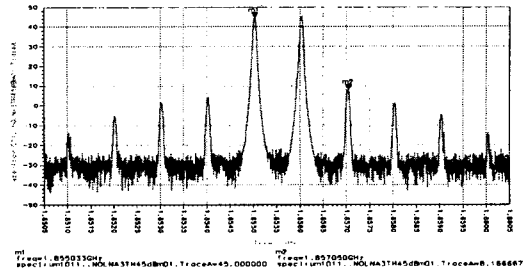


그림 3. Predistortion Amp에서 3차 IMD가 5차 IMD보다 크게 발생하였을 때의 출력

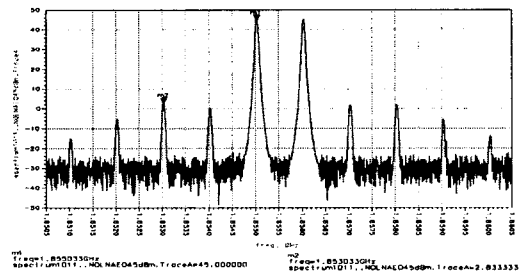


그림 4. Predistortion Amp에서 3차 IMD와 5차 IMD보다 비슷하게 발생하였을 때의 출력

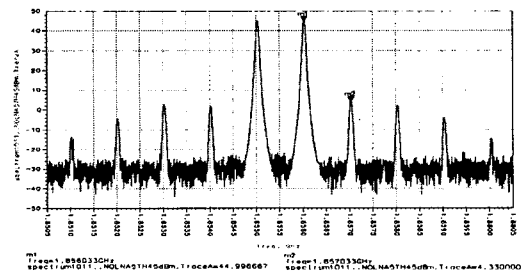


그림 5. Predistortion Amp에서 5차 IMD가 3차 IMD보다 크게 발생하였을 때의 출력

3.2 Predistorter를 사용한 후의 특성

위에서는 Predistorter를 사용하지 않았을 때의 출력을 살펴보았다. 이제 Predistorter를 사용한 경우의 출력 특성을 살펴보겠다.

다음 그림 6, 그림 7, 그림 8은 각각 앞에서 보았던 세 가지 경우에 대하여 Predistorter를 사용한 경우의 최종 출력을 보여 주고 있다.

표 2는 각 경우에서의 IMD 개선 정도를 나타내었다. 표 2에서 보는 바와 같이 3차 IMD가 5차 IMD보다 크게 발생하였을 경우가 IMD 개선량이 가장 큼을 알 수 있다. 즉 Predistortion Amp와 Main Amp의 IMD 특

성이 가장 유사하다고 생각할 수 있겠다. 최종 출력에서 IMD 특성과 개선 정도를 함께 고려한다면 3차 IMD와 5차 IMD가 비슷하게 발생한 경우가 가장 우수하다. 이 경우는 Predistorter를 사용하기 전의 특성이 가장 우수했다.

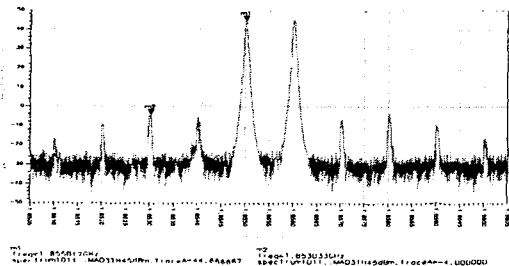


그림 6. 출력이 그림 3인 경우 Predistorter를 사용하였을 때 최종 출력

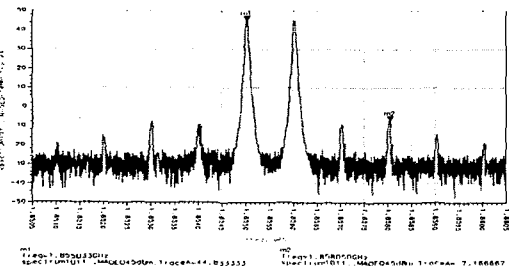


그림 7. 출력이 그림 4인 경우 Predistorter를 사용하였을 때 최종 출력

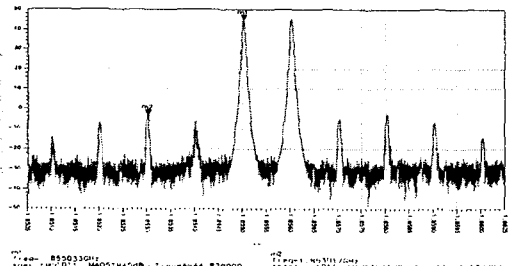


그림 8. 출력이 그림 5인 경우에 Predistorter를 사용하였을 때 최종 출력

	Predistorter 사용 전	Predistorter 사용 후	IMD 개선량
3차 > 5차	36.8 dBc	48.7 dBc	11.9 dB
3차 ≈ 5차	42.2 dBc	52.0 dBc	9.8 dB
3차 < 5차	40.7 dBc	48.0 dBc	7.3 dB

표 2 각 경우의 IMD 개선 정도

V. 결론

현재 통신 기술을 유선에서 시작하여 무선으로 아날로그 방식에서 디지털 방식으로 변해 가고 있다. 과거에는 하나의 채널을 하나의 전력증폭기가 담당하였다. 그러나 이러한 방식은 몇 가지 단점을 가지고 있다. 첫째, 각 채널마다 채널 밖의 신호를 제거해주는 채널공진기라는 대역통과 필터를 사용하는데 이 필터는 효율이 매우 낮아서 전력손실이 큼으로 이를 보상하기 위해서 전력증폭기는 더 큰 출력을 내야한다. 둘째, 하나의 채널을 하나의 전력 증폭기가 담당함으로써 전력증폭기의 고장 시 그 채널은 통화가 불가능하게 된다. 이러한 단점을 해결하기 위하여 선형 전력증폭기가 사용된다. 선형 전력증폭기는 좋은 IMD 특성을 요구함으로써 여러 가지 선형화 방법이 요구된다.

본 논문에서는 현재 가장 많이 사용되고 있는 선형화 방식인 Feedforward 방식과 Predistortion 방식을 결합한 기법을 사용하였다. 앞에서 살펴본 바와 같이 평균 출력 48dBm(60W)에서 약 12dB 정도의 IMD를 개선하였고, 같은 출력에서 52dBc 정도의 IMD 특성을 갖는다. 향후 연구과제는 적용 알고리즘을 이용하여 제어하는 것이다.

참고문헌

- [1] Nobuaki Imai, Toshil Nojima, Takehiro Murase, "Novel Linearizer Using Balanced Circulators and Its Application to Multilevel Digital Radio Systems.", IEEE Trans. Microwave Theory and Tech., Vol. 37, No. 8, August 1989, pp 1237-1243
- [2] T. Nojima and T. Konno, "Cuber predistortion linearizer for relay equipment in 800MHz band land mobile telephone system." IEEE Trans. Veh. Technol., Vol. VT-34 No. 4, Nov. 1985 pp. 169-177,
- [3] Mark E. Tucker, Stewart L. Cummings, "Second-order Predistorter", United States Patent, No.5227736. May 18, 1992
- [4] 조속희, 장성욱, 김병철, "Mixer 와 TR을 이용한 Predistorter의 설계" 마이크로파 및 전파 학술대회 논문지, Vol. 23 No. 1, 2000년 5월 20일.
- [5] E. E. Eid and F. M. Ghannouchi, "Adaptive Nulling loop Control for 1.7GHz Feedforward Linearization systems.", IEEE Trans. Microwave Theory and Tech., Vol. 45, Jan. 1997, pp 83-86.