

대전력증폭기의 AM/AM과 AM/PM을 독립적으로 제어하는 전치왜곡보상기 설계

원용규* 정찬수**
 서울정보기능대학* 송실대 전기공학과**

A Design of Predistorter for Independently Controllable AM/AM and AM/PM of High Power Amplifier

Yong-Kyu Won* Chan-Soo Jung**
 Seoul Information Polytechnic College* Dept. E.E. Soongsil Univ**

Abstract - Amplifier linearity plays a major role in the design of modern communication systems.

An independently controllable AM/AM and AM/PM predistortion linearizers that consists of two bias feed resistance linearizers is proposed. This linearizer allows independent adjustment of the AM/AM and AM/PM curves by using two adjustable voltages to compensate the power amplifier non-linearities. The predistortion linearizer can improve the ACPR by 5dB with cdma2000 multi carrier signals. By applying this linearizer to two-tone 880MHz power amplifier, an improvement of adjacent channel leakage power up to 5dBm has been achieved.

1. 서 론

전력증폭기의 선형성화는 근래 통신시스템설계에 중요하게 대두되고 있다. 통신수요의 증가와 그에 따른 주파수대역의 증가로 많은 기지국이 필요하게되고 기지국 통신시스템의 전력증폭기는 가능한 높은 출력신호를 방사해야만 된다. 그러기 위해서는 전력증폭기가 포화영역 이상에서 동작해야만 하는데 이 포화영역을 넘어서면서 대전력 증폭기는 출력의 크기와 위상이 왜곡되기 시작한다. 그리고 여러 개의 반송파가 입력되어 같이 증폭될 경우 포화영역은 비선형 특성으로 인하여 혼변조 신호들이 발생하게 된다. 이때 발생한 혼변조 성분들은 혼신 또는 잡음으로 작용하여 통화 품질의 저하와 전체시스템의 이득을 감소시키게 된다. 현재 많이 사용되고 있는 전력증폭기의 선형화 방법으로써 백-오프(Back-off) 방법, 부의 피-드백(Negative-feedback)방법, 피-드퍼워드(Feedforward)방법, 전치왜곡보상(Predistortion)방법 등이 있다. 백-오프(Back-off)방법은 다수 반송파가 입력되는 전력 증폭기에 대해 증폭기의 출력을 최고출력치보다 3~5[dB]정도 낮은 지점에서 동작하도록 하는 방법으로 혼변조 잡음을 줄일 수는 있지만 그것은 전체출력이 낮아져서 같은 출력을 내기 위해서는 여러 개의 전력 증폭기를 병렬로 접속하여 구동해야 하기 때문에 전체 증폭기의 부피가 커지고 더 큰 용량의 전원공급기가 필요하게 되므로 그에 따른 전체증폭기의 효율과 안정성이 저하되고 고가의 비용이 들게 된다. 다음으로 부의 피-드백(Negative-feedback)방법은 반송파와 혼변조 왜곡신호가 섞여있는 증폭기 출력의 일부를 축출하여 증폭기의 입력으로 부궤환 시켜 선형화를 실현하는 방식으로 전송 대역폭에 따른 시간지연을 보상하기 위한 별도의 장치와 필요하게 되며 전송주파수가 광 대역에서는 사용하기가 곤란하고 발전방지를 위한 대역제한 여파기가 필요하다는 단점을 갖고 있다.[3] 그리고 피-드퍼워드 방법은 왜곡된 송신기의 출력과 왜곡되지 않은 송신기의 입력을 비교해서 순수한 왜곡신호만을 추출하여 별도의 증폭 레벨, 위상, 지연시간을 조정함으로써 송신기의 출력에서 왜곡성분이 최소가 되게 하는 방식이다.[4] 이 방식은 개념적으로는 간단하지만 송신기의 주 신호 패스와 동일한 특성을 가지는 왜곡신호패스를 구성해야 되므로 시스템이 복잡하고 비용이 많이 들게 된다. 마지막으로 전치왜곡보상방법은 순수왜곡신호를 만들어내는 왜곡발생회로를 증폭기 앞단에 위치시켜서 전치왜곡보상기의 출력레벨 및 위상을 조정하게 함으로써 증폭기에서 생기는 비

선형 특성을 상쇄시켜 이득영역을 확장시키는 방식이며, 본 연구에서 제시된 전치왜곡보상기는 AM/AM과 AM/PM변환을 독립적으로 보상하는 것으로 개선효과는 비교적 크지 않으나 저전력 소자로 구현이 가능하고 저비용, 소형, 경량화가 가능하다는 장점이 있다.[1,2,5]

2. 본 론

2-1. AM/AM과 AM/PM의 독립제어 전치왜곡보상기

이 방법은 독립적으로 두 개의 바이어스를 받아 AM/AM과 AM/PM을 각각 제어하는 것이다. 즉 비선형 전력증폭기에 두 부분의 DC 바이어스된 다이오드가 결합된다. 전치왜곡보상기는 많은 부품과 복잡한 제어회로로 구성되는 Feedforward 방법에 의한 선형제어기보다 간단하고 AM/AM과 AM/PM보상이 가능하기 때문에 많은 관심을 갖고 있다.

이것은 대전력증폭기의 AM/AM과 AM/PM을 각각 독립적으로 보상하기 때문에 그 보상효과와 안정성 면에서 많은 장점을 가질 수 있음을 알 수 있다. 그림 1에 도시한바와 같이 바이어스된 다이오드의 메칭회로에 DC바이어스를 제어함으로써 위상의 지상과 진상을 쉽게 조절이 가능하고 90°하이브리드를 이용하여 각 AM/AM과 AM/PM 독립구성을 이룰 수 있도록 하였다.

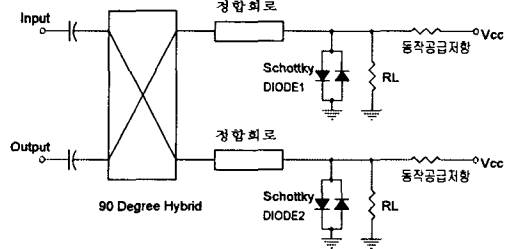


그림 1. AM/AM과AM/PM 전치왜곡보상기 기본구성회로

병렬다이오드의 전달특성 S21은 다이오드의 바이어스 특성함수으로써 S21에 대한 위상과 진폭크기는 식(1),(2)로 산출된다.[2]

$$|S_{21}| = \frac{2}{\sqrt{(wC Z_0)^2 + \left(\frac{Z_0}{R_{total}} + 2\right)^2}} \quad (1)$$

$$\angle S_{21} = \tan^{-1} \left(\frac{wC Z_0}{\frac{Z_0}{R_{total}} + 2} \right) \quad (2)$$

여기서 S 파라미터는 고주파를 다루는데 유용한 특성지표로 S21은 그림1의 Input포트로 입사된 전력이 Output 포트에 얼마나 전달되느냐 하는 것을 의미하고 ∠ S21은 그의 위상각을 의미한다. ω는 각주파수, C는 다이오드의 접합정전용량과 병렬커패시터의 합이며 Z0는 선로특성임피던스를 나타내고 (2)식의 Rtotal은 다음 식으

로 나타낼 수 있다.

$$R_{total} = \frac{R_{diode} \cdot R_{bias}}{R_{diode} + R_{bias}} \quad (3)$$

(3)식에서 R_{diode} 는 다이오드 다이내믹 저항이고, R_{bias} 는 바이어스된 저항성분이다. 따라서 위와 같은 개념 하에 AM/AM과 AM/PM독립제어 전치왜곡보상기를 구성하면 입력전력의 증가에 따라 이득의 확장 또는 압축과 위상의 진상 또는 지상제어 역할을 할 수 있게 된다.

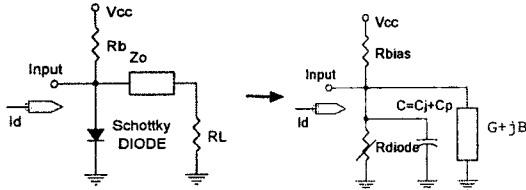


그림2. 역 신호발생기의 등가회로

그림 2의 등가회로를 보면 입력전력레벨이 적을 때는 다이오드의 다이내믹 저항이 커서 I_d 가 적은 값을 가지고 신호들은 종단저항 R_L 에서 반사되지만, 입력 전력레벨이 높을 때는 다이오드의 다이내믹 저항이 작아져서 I_d 값이 커지게 되면서 종단저항 R_L 뿐만 아니라 다이오드에서도 신호 반사가 일어나게 된다. 따라서 신호들의 입력이 클 때는 상대적으로 이득이 증가하게 되고 위상은 앞서게 되므로 이것이 전력증폭기 전단에 위치하게 되면 전치왜곡보상기 역할을 할 수 있게 된다.

그림 3은 증폭용 트랜지스터(MHL9838)의 입력신호 증가에 따른 위상 및 진폭특성곡선을 나타내고 있다. 입력신호의 중심주파수 880MHz, 입력전력은 -10dBm에서 +10dBm까지 변화시켜 가면서 S21(순방향 전달특성)과 위상변화특성을 관찰하였다. 여기서 보면 신호입력의 증가에 따라 선형적인 특성을 보이다가 일정 레벨 이상부터는 포화되어 비선형 특성으로 가는 것을 볼 수 있다.

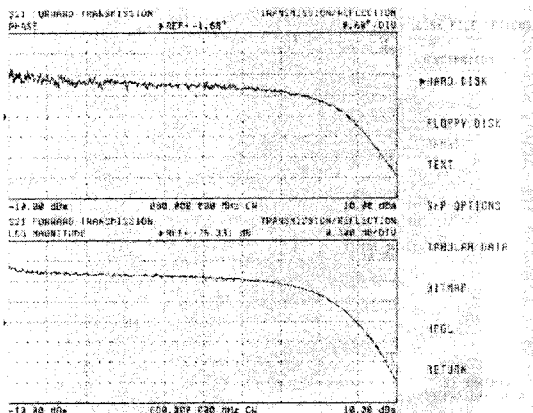


그림 3. 증폭기의 입력신호 변화에 따른 특성곡선

2-2. AM/AM과 AM/PM의 독립제어 전치왜곡보상기의 제작 실험

그림 4는 AM/AM과 AM/PM독립제어 선형화기 블록도이다. 이것은 두 개의 전치왜곡보상기와 두 개의 90도 하이브리드로 구성되어 있다. 전치왜곡보상기1은 AM/AM 이득 보상용이고, 전치왜곡보상기2는 AM/PM 위상보상용이다. 그리고 각 전치왜곡보상기는 90° 하이브리드 각 포트에 DC바이어스된 다이오드가 연결되어있다. 여기서 사용된 하이브리드는 Anaren사의 X-502으로

각 독립보상을 위해 사용하였다. 이러한 구성은 입력에 대한 출력의 위상과 이득크기의 변화를 독립적으로 작용시킬 수 있다.

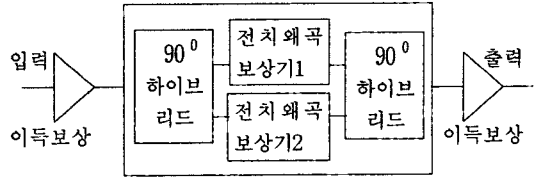
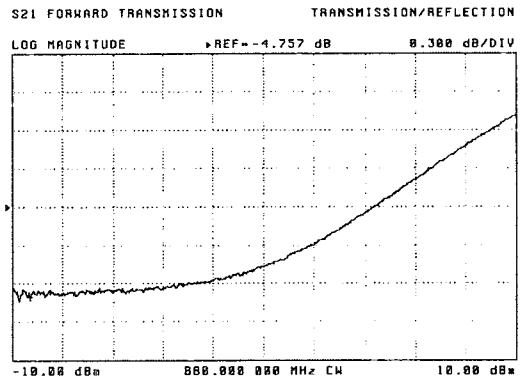


그림 4. AM/AM과 AM/PM독립제어 선형화기 블록도

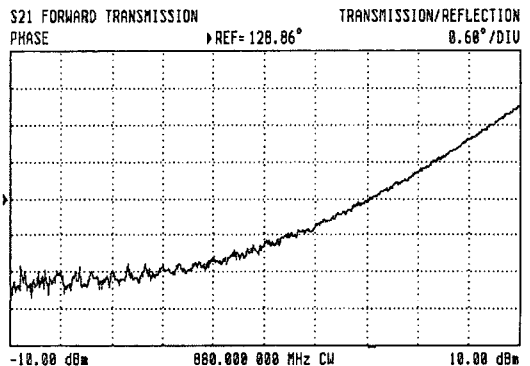
신호의 이득보상용 증폭기로는 저잡음 증폭기를 사용하게 되고 증폭전력은 대개 5[dB]미만으로 한다.

2-3. 전치왜곡보상기 특성곡선

신호입력은 그림5의 특성곡선에서 볼 수 있듯이 중심주파수를 880MHz, 입력전력은 -10dBm에서 +10dBm까지 변화시켜 가면서 S21(순방향 전달특성)과 위상변화특성을 관찰했고 외부 바이어스를 $V_{cc} = 0.5V$, 다이오드와 병렬 커패시터 용량을 최적의 조건을 찾아 4pF로 하였으며, 다이오드 구성도 Dual diode type으로 하였다. 입력을 서서히 상승시켜 -4dBm까지 되니까 이 지점부터 신호의 위상과 진폭이 동시에 서서히 상승되는 것을 볼 수 있다.



(a)



(b)

그림 5. AM/AM과 AM/PM독립제어 전치왜곡보상기 특성곡선 (a) AM/AM특성곡선 (b)AM/PM특성곡선

이상의 실험으로 전력증폭기의 비선형역역을 보상할 수 있다는 확신을 갖게 되었고 AM/AM보상회로 부분과

AM/PM보상회로 부분을 동시에 DC바이어스를 공급한 상태에서의 특성곡선을 찾아내어 본 결과 그림 5에서와 같이 추구하는 AM/AM과 AM/PM보상이 가능하다는 결론을 얻게 되었다.

3. 실험 결과

전치왜곡보상기의 특성을 측정하기 위해서는 현재 사용되는 CW 신호를 입력하여 스펙트럼 상에서 왜곡의 정도를 측정하는 것이 일반적이다. 실제 혼변조 신호의 왜곡으로 인하여 인접채널에 왜곡성분의 증가 (ACPR: Adjacent Channel Power Ratio)가 발생하게 되므로 이 부분의 특성에 대한 개선이 가장 중요 시 되고 있는 요소이다. 측정은 DCS(880MHz)밴드의 경우, 입력신호로 다양한 FA(Frequency Allocation)를 사용하고 중심 주파수에서 +/- 885KHz 떨어진 곳과 +/- 1.98MHz 떨어진 곳에서의 상대적인 신호레벨(dBc)을 측정하였다. 이렇게 측정하는 방법을 스펙트럼 마스크라고 부르는데 국제적인 신호의 규격으로 정해져 있다. 그러나 이러한 측정은 대전력 증폭기의 전체적인 특성을 규정하는데 사용되는 방법이므로 offset 주파수에 따른 규격에 대해 만족하느냐의 여부는 본 논문에서 다루야 할 부분은 아니므로 대전력 증폭기에 사용되는 전치왜곡보상기의 특성에 관한 측정만을 하였다.

3-1. ACPR 특성곡선

이 논문에서는 구현한 전치왜곡보상기의 입력으로 cdma 밴드신호를 넣어서 출력에서 전치왜곡보상기가 있는 경우와 없는 경우를 비교하여 측정하였다. 측정결과 그림 6에서 전치왜곡보상기가 있는 경우와 없는 경우에 대해서 ACPR 특성곡선을 볼 수 있고 상대적으로 낮은 스펙트럼의 증가(Spectral Regrowth)를 나타내는 양호한 특성을 볼 수 있다.

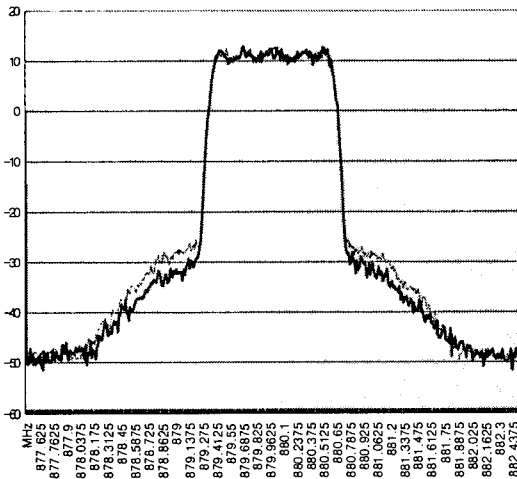


그림 6. ACPR특성곡선

3-2. IMD 특성곡선

전치왜곡보상기의 특성을 측정하는 일반적인 방법으로 입력에 혼합된 신호(Multi-tone)를 인가하여 출력에서의 혼변조(IMD: Inter-Modulation Distortion) 특성을 측정한다. 대개 대전력 증폭기의 경우 사용되는 전력 증폭용 TR의 종류에 따라 발생되는 혼변조의 특성 또한 약간의 차이가 있게 되는데 GaAs FET를 사용하는 경우와 최근에 많이 사용되는 LDMOS의 경우 3차항 왜곡성분과 5차항 왜곡성분의 발생에 차이를 가지고 있다. 따라서 입력에 2개의 신호를 혼합한 신호를 넣어서 출력을 측정하게 되면 3, 5, 7 차항의 왜곡 특성을 관찰할 수 있다. 대개 인접채널의 특성이 제일 중요하므로 5차항까지의 특성을 측정한다. 이 측정역시 그림 7에서와 같이 ACPR의 측정과 마찬가지로

입력의 신호 레벨을 변화시켜 가면서 출력에서 혼변조 특성의 개선정도를 측정하였고 전치왜곡보상 전, 후에 대한 약5dBc정도의 확실한 개선효과를 볼 수 있다.

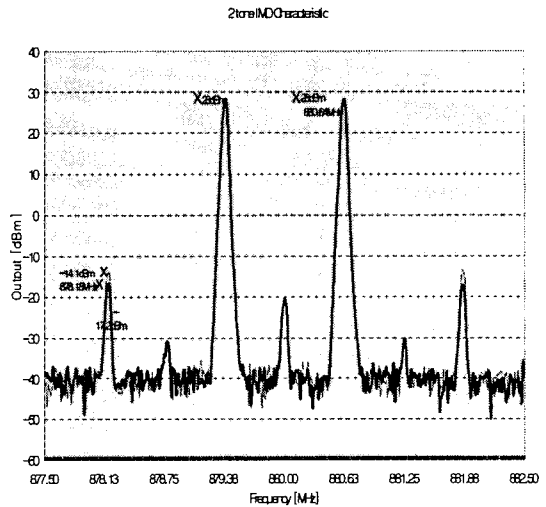


그림 7. IMD특성곡선

4. 결론

본 연구에서는 통신용 대전력증폭기의 선형화를 위해 AM/AM과 AM/PM을 독립적으로 보상하는 방법을 구현하였다. 이 방법은 메인증폭기 전단에 쇼트키다이오드를 이용하여 증폭기의 비선형 특성과 반대의 특성신호를 발생하게 함으로써 증폭기의 선형화영역을 더 높이는 것에 목적을 두고 이득과 위상에 각각 그 특성을 고려하여 독립적으로 보상 할 수 있게 구성하였다.

연구결과 DCS밴드에서 전치왜곡보상을 하지 않았을 때 보다 비선형특성이 약5[dBm]이상 보상할 수 있음을 입증하였다. 또한, AM/AM과 AM/PM을 독립적으로 보상하는 전치왜곡보상방법은 feedforward나 feedback 방법 보다 간단하면서도 뚜렷한 개선효과가 있음을 확인하였다.

(참 고 문 헌)

- [1] K. Yamauchi, M. Nakayama, Y. Ikeda, H. Nakaguro, N. Kadowaki, and T. Araki, "An 18GHz-Band MMIC Linearizer Using a Parallel Capacitor", IEEE MTT-S Digest, pp. 1507-1510, vol. 3, June 2000.
- [2] P. Chan-Wang, F. Beaugard, G. Carangelo and Fadel, "An Independently Controllable AM/AM and AM/PM Predistortion Linearizer for cdma2000 Multi-Carrier Applications", IEEE, pp.53-56. 2001.
- [3] C. Hsieh, E. Strid, A "S-Band High Power Feedback Amplifier", Proc. of IEEE, MTT-s, pp. 182-184, 1977.
- [4]이원우, 박광량, 정용재, 윤상원, 장익수 "Feedforward 방식을 이용한 Predistortor에 관한연구", 한국전자통신학회, vol. 31A, no. 5, pp. 68-75, 1994. 5.
- [5] C. B. Haskins, "Diode Predistortion Linearization for Power Amplifier RFICs in Digital Radios", 2000, Christopher B. Haskins.