

RF통신용 대전력증폭기의 선형화에 관한연구

원용규*, 이상철**,정찬수***
 서울정보기능대학*, 동서울대학**, 송실대학교***

A Design of linearize for High Power Amplifier using RF communication

Yong-Kyu Won*, Sang-Cheol Lee**, Chan-Soo Jung***
 Seoul Information Polytechnic College*, Dong Seohi College**, Soongsil Univ.***

Abstract - Power amplifier linearity plays a major role in the design of RF communication systems. In this paper, predistortion type linearizer was designed an independently controllable AM/AM and AM/PM predistortion linearizers. 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 was improved the ACPR by 6dB with cdma2000 multi carrier signals. 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

근래 통신시스템설계에 중요하게 대두되고 있는 것이 전력증폭기의 선형성화이다. 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 전체 시스템의 이득을 감소시키게 된다. 현재 많이 사용되고 있는 전력증폭기의 선형화 방법으로써 백-오프(Back-off)방법, 부의 피드백(Negative-feedback)방법, 피드퍼워드(Feedforward)방법, 전치왜곡보상(Predistortion)방법 등이 있다. 백-오프(Back-off)방법은 다수 반송파가 입력되는 전력 증폭기에 대해 증폭기의 출력을 최고출력지점보다 3~5[dB]정도 낮은 지점에서 동작하도록 하는 방법으로 전체증폭기의 효율과 안정성이 저하되고 고가의 비용이 들어가게 된다. 다음으로 부의 피드백(Negative-feedback)방식은 반송파와 혼변조 왜곡신호가 섞여있는 증폭기 출력의 일부를 축출하여 증폭기의 입력으로 부채환 시켜 선형화를 실현하는 방식으로 전송 대역폭에 따른 시간지연을 보상하기 위한 별도의 장치가 필요하게 된다.[2] 그리고 피드퍼워드 방법은 피드백 방법의 반대개념으로서 축출된 왜곡성분을 입력에 보내서 처리하는 것이 아니라 출력 자체에서 해결하는 것이다.[3] 마지막으로 전치보상방법은 순수왜곡신호를 만들어내는 왜곡발생회로를 증폭기 앞단에 위치시켜서 왜곡 발생회로의 출력레벨 및 위상을 조정하게 함으로써 증폭기에서 생기는 비선형 특성을 상쇄시켜 이득영역을 확장시키는 방식으로 AM/AM과 AM/PM변환을 독립적으로

보상하는 전치왜곡보상방법이 있다. 이 방법은 개선효과는 비교적 크지 않으나 저전력 소자로 구현이 가능하고 저비용, 소형, 경량화가 구현이 가능하다는 장점이 있다.[1,4]

본 연구에서는 AM/AM과 AM/PM변환을 독립적으로 제어하는 전치왜곡보상방법을 구현하여 그 우수성을 입증하는데 목적을 두었다.

2. 본 론

2-1. AM/AM과 AM/PM의 독립 전치왜곡보상에 의한 선형화 기법

이 방법은 독립적으로 두 개의 바이어스를 받아 AM/AM과 AM/PM을 각각 제어하는 것이다. 즉 비선형 전력증폭기에 두 부분의 DC 바이어스된 다이오드가 결합된다. 직렬다이오드만으로 구성된 전치왜곡보상기는 AM/AM과 AM/PM 보상을 동시에 만족하기에는 다소 어려움이 있다. 따라서 병렬다이오드 형태의 구성을 시도해 보았으나 AM/AM과 AM/PM의 각각의 바이어스 제어에 안정되지 못한 특성을 보였다. 본 연구의 AM/AM과 AM/PM의 각각 독립전치보상기법은 두 개의 선형제어기가 구성되어 그 보상효과와 안정성 면에서 많은 장점을 가질 수 있음을 알 수 있다. 이것은 그림 1에서 바이어스된 다이오드의 매칭회로의 DC바이어스를 제어함으로써 위상의 지상과 진상을 쉽게 조절할 수 있도록 하였다.

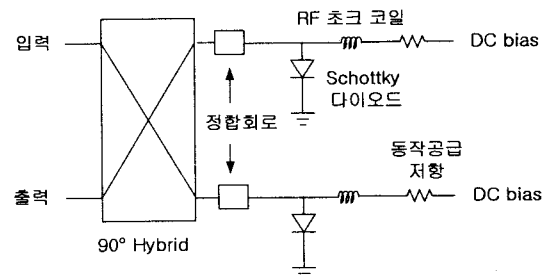


그림1. AM/AM과AM/PM 독립 전치보상에 의한 선형화 기의 기본구성회로

병렬다이오드의 전달특성 S21은 다이오드의 바이어스 특성함수로서 S21에 대한 위상과 진폭크기의 변화는 다음 식(1)로 표현된다.

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

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

여기서 S 파라미터는 고주파특성을 표현하는데 많이 쓰이는 특성지표로 S₂₁은 2-포트 네트워크로 표현된 회로에 1번 포트에서 입사된 전력이 2번 포트에 얼마나 전달되느냐 하는 것을 의미하고 ∠S₂₁은 위상각을 의미한다. ω는 각주파수, C는 다이오드의 정전용량이며 Z₀는 특성임피던스이다. 여기서 R_{total}은 다음 식으로 나타낼 수 있다.

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

R_{diode}는 다이오드 다이내믹 저항이고, R_{bias}는 외부 바이어스 전류제한용 다이오드이다.

따라서 위와 같은 개념 하에 AM/AM과 AM/PM 독립 제어 전치왜곡보상기를 구성하면 입력전력의 증가에 따라 이득의 확장 또는 압축과 위상의 진상 또는 지상 제어 역할을 할 수 있다.

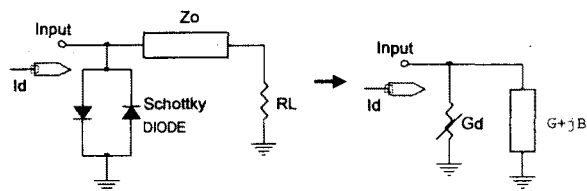


그림2. 역 신호발생기의 등가회로

동작원리는 입력 전력 레벨이 적을 때는 다이오드의 다이내믹 저항이 커서 Id가 적은 값을 가지고 신호들은 종단 저항 R_L에서 반사되지만, 입력 전력 레벨이 높을 때는 다이오드의 다이내믹 저항이 작아져서 Id값이 커지게 되면서 종단저항 R_L뿐만 아니라 다이오드에서도 신호 반사가 일어나게 된다.

따라서 신호들의 입력이 클 때는 상대적으로 이득이 증가하게 되고 위상은 앞서게 되는 역 왜곡신호가 발생하게 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 되는 것을 볼 수 있다.

2-2. AM/AM과 AM/PM의 독립 전치왜곡보상기 기법에 의한 선형화기의 제작 실험

그림 4는 AM/AM과 AM/PM 독립 제어 선형화기 블록도이다. 이것은 두 개의 선형화기와 두 개의 90도 하이브리드로 구성되어 있다. 선형화기1은 AM/AM 이득 보상용이고 선형화기2는 AM/PM 위상보상용이다. 그리고 각 선형화기는 90° 하이브리드 각 포트에 DC 바이어스된 다이오드가 연결되어 있다. 여기서 사용된 하이브리드는 Anaren사의 X-503을 사용하였고 각 독립보상을 위해 사용하였다.

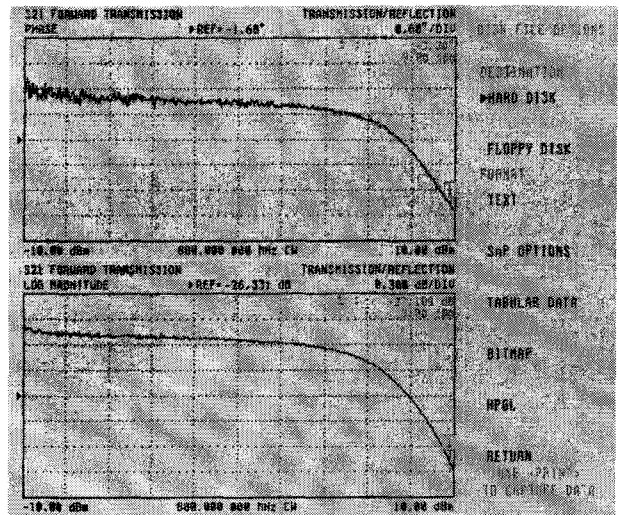


그림 3. 증폭기의 입력신호 변화에 따른 특성곡선

이러한 구성은 입력에 대한 출력의 위상과 이득크기의 변화를 독립적으로 작용시킨다.

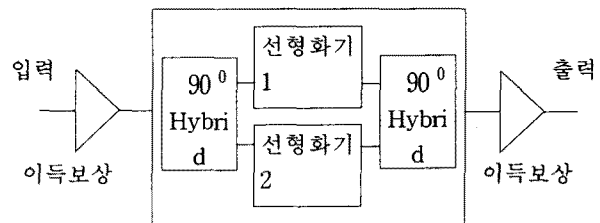


그림 4. AM/AM과 AM/PM 독립 제어 선형화기 블록도

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

2-3. 전력증폭기의 전치왜곡보상 특성곡선

전력증폭기의 비선형영역을 찾기 위한 실험으로 AM/AM만 독립적으로 보상한 상태에서의 즉, AM/AM 보상회로에만 DC 바이어스를 공급한 상태에서 특성곡선을 확인하였고, 다음은 AM/PM만 독립적으로 보상한 상태에서의 특성곡선을 확인하였다. 마지막으로 AM/AM 보상회로 부분과 AM/PM 보상회로 부분을 동시에 DC 바이어스를 공급한 상태에서의 특성곡선을 찾아내었다.

2-3-1. AM/AM만 독립적으로 보상할 경우의 특성곡선

신호입력의 중심주파수를 880MHz, 입력전력은 -10dBm에서 +10dBm까지 변화시켜 가면서 S21(순방향 전달특성)과 위상변화특성을 관찰했는데 이때는 외부 바이어스를 V_{cc} = 0.5 V, 다이오드와 병렬 커패시터 용량을 최적의 조건을 찾아 4pF로 하였으며, 다이오드 구성은 Dual diode type으로 하였다. 그림 5에서 보는바와 같이 입력을 서서히 상승시켜 -2dBm까지 되니까 이 지점부터 신호의 크기가 서서히 상승하는 것을 볼 수 있다. 그러나 위상의 변화는 전혀 변동이 없음을 확인하였다.

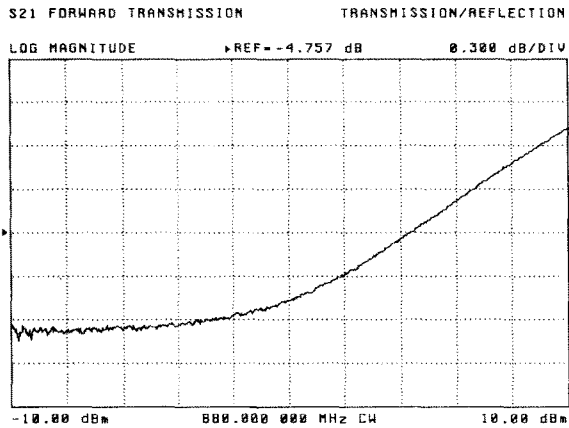


그림 5. AM/AM만 독립적으로 보상한 특성곡선

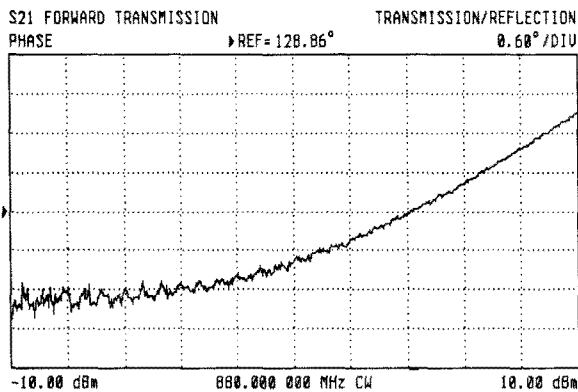


그림 6. AM/PM만 독립적으로 보상한 특성곡선

전력증폭기의 비선형영역을 찾기 위한 두 번째 실험으로 AM/AM만 독립적으로 보상한 상태에서의 즉, AM/AM보상회로에만 DC바이어스를 공급한 상태에서 특성곡선을 확인한 결과 뚜렷하게 AM/AM특성만 변화를 가져왔고 AM/PM특성은 거의 변화가 없음을 확인하였다.

2-3-2. AM/AM만 독립적으로 보상할 경우의 특성곡선

신호입력의 중심주파수를 880MHz, 입력전력은 -10dBm에서 +10dBm까지 변화시켜 가면서 S21(순방향 전달특성)과 위상변화특성을 관찰했는데 이때는 외부 바이어스를 $V_{cc} = 0.5 V$, 다이오드와 병렬 커패시터 용량을 최적의 조건을 찾아 4pF로 하였으며, 다이오드 구성도 Dual diode type으로 하였다. 그림 6에서 보는바와 같이 입력을 서서히 상승시켜 -4dBm까지 되니까 이 지점부터 신호의 위상이 서서히 진상으로 되는 것을 볼 수 있다. 그러나 진폭의 변화는 전혀 변동이 없음을 확인하였다. 따라서 위 실험 결과 AM/AM과 AM/PM을 따로 따로 보상할 수 있음을 확인하였고 궁극적으로 AM/AM과 AM/PM을 동시에 보상되어야 그 보상효과가 확인되므로 따로 따로 보상하는 것은 그 의미가 적다. 따라서 다음 실험에서는 AM/AM과 AM/PM을 동시에 보상될 수 있도록 하여 최종의 전치보상효과를 입증할 수 있도록 하였다.

3. 실험 결과

전치 왜곡기의 특성을 측정하기 위해서는 실제 사용하는 CDMA 신호를 입력하여 스펙트럼 상에서 왜곡의 정도를 측정하는 것이 일반적이다. IMD측정은 DCS 의 경

우 입력신호로 다양한 FA(Frequency Allocation)을 사용하고 중심 주파수에서 +/- 885KHz 떨어진 곳과 +/- 1.98MHz 떨어진 곳에서의 상대적인 신호레벨(dBc)을 측정한다. 이렇게 측정하는 방법을 스펙트럼 마스크라고 부르는데 국제적인 신호의 규격으로 정해져 있다. 전치 왜곡보상기의 특성을 측정하는 일반적인 방법으로 입력에 혼합된 신호(Multi-tone)를 인가하여 출력에서 이의 혼변조(IMD: Inter-Modulation Distortion) 특성을 측정하였다. 입력에 2개의 신호를 합성한 신호를 넣어서 출력을 측정하게 되면 3, 5, 7 차항의 왜곡 특성을 관찰할 수 있다. 대개 인접채널의 특성이 제일 중요하므로 5차항까지의 특성을 측정하였다.

2tone IMD Characteristic

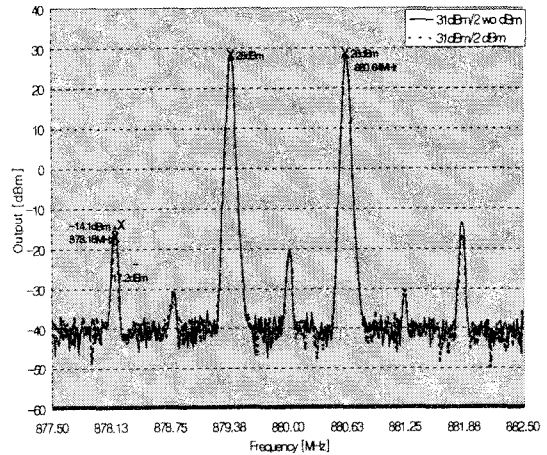


그림7. IMD특성곡선

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 CDMA밴드에서 전치보상을 하지 않았을 때보다 안정되게 증폭기의 왜곡으로 인한 비선형특성을 5[dBm]이상 보상할 수 있음을 입증하였다. 또한, AM/AM과 AM/PM을 독립적으로 보상하는 전치보상방법은 feedforward나 feedback 방법 보다 간단하면서도 비교적 우수한 특성을 가지고 있음을 확인하였다.

[참고 문헌]

- [1] K. Yamauchi, et al, "A novel series diode linearizer for mobile radio power amplifier", Proc. of the IEEE Symposium on Microwave Theory and Techniques, pp. 831-834, 1996.
- [2] C. Hsieh, E. Strid, A "S-Band High Power Feedback Amplifier", Proc. of IEEE, MTT-s, pp. 182-184, 1977.
- [3] 이원우, 박광량, 정용채, 윤상원, 장익수 "Feedforward 방식을 이용한 Predistortor에 관한연구", 한국전자통신연구원, vol. 31A, no. 5, pp. 68-75, 1994. 5.
- [4] C. B. Haskins, "Diode Predistortion Linearization for Power Amplifier RFICs in Digital Radios", 2000, Christopher B. Haskins.