

Predistorter를 이용한 전력증폭기의 선형화에 관한 연구

오 규 태*, 김 정 선**

한국항공대학교 항공전자공학과

전화 : 02-2068-6080 / 핸드폰 : 016-327-0527

Linearizing of RF Power Amplifier Using a Predistorter

Kyu-Tae Oh*, Jung-sun Kim**

Hankook Aviation University

E-mail : okt@sdsolution.co.kr

Abstract

This paper has been studied a predistorter which is able to linearizing of RF amplifier using schottkey.

If input signal level is low, input signal is delivered directly. And if input signal level is high, input signal is delivered with decreasing. So RF amplifier always works at saturation region.

When this predistorter is used to simplified C-class RF amplifier, we have concluded that efficiency is improved about 3%.

본 연구는 일종의 predistortion 방식으로 쇼트키 다이오드를 사용하여 저전력으로 RF 전력증폭기를 선형화시킬 수 있는 predistorter에 관하여 연구하였다.⁽⁴⁾⁽⁵⁾⁽⁶⁾

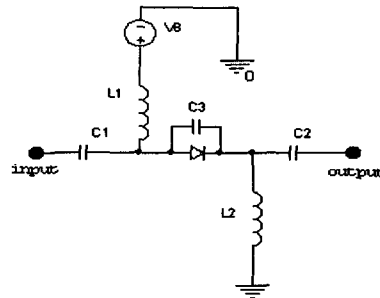


그림 3 predistorter를 이용하는 C급 전력증폭기

I. 서론

최근 무선 전화, 무선 모뎀, 개인 휴대 전화 등 무선 통신 시스템의 수요증가와 함께 휴대용 무선 단말기의 소형 경량화가 절대적으로 요구되고 있다.

이와 같은 휴대용 단말기들은 battery 수명은 늘리면서 낮은 전압에서 고능률을 동작하여야 한다.

Battery의 수명에 가장 직접적인 영향을 미치는 것이 RF 전력증폭기이다. RF 전력증폭기는 비선형 특성에 의한 주파수 재생성으로 IM3, IM5 등의 인접채널간섭이 발생한다.

이와 같은 비선형특성을 보상하기 위해 feed-forward 방식, predistortion 방식이 사용되고 제안되고 있다⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾.

II. 프리디스토터의 특성

1. 선형화기가 부가된 전력증폭기

이 선형화기는 순방향 바이어스 상태에서 다이오드 등가 저항의 비선형성을 이용한다. 그림 1은 쇼트키 다이오드를 이용한 predistorter의 회로도이다.

이 선형화기 동작의 기본 개념은 전력증폭기의 1-dB compression point보다 더 큰 입력 신호가 전력증폭기로 들어오면 전력증폭기가 포화 영역에서 동작하게 되어 인접채널간섭 현상이 발생하게 되는데 본 논문에서 제안한 predistorter는 입력신호의 레벨에 관계 없이 전력증폭기가 선형 영역에서만 동작할 수 있도록 입력 신호 레벨을 조절

하는 동작을 한다.

2. Predistorter의 동작

그림 1의 회로가 predistorter이다. L1은 입력신호에 바이어스전압을 공급하는 역할을 한다. C3와 L2는 입력 신호의 주파수와 공진되어 공진된 주파수만 통과될 수 있도록 한다. 다이오드는 RF에서 빠른 스위칭 능력이 있는 쇼트키 다이오드를 사용하였다.

입력 신호 레벨이 쇼트키 다이오드의 turn-on level 이 하이면 C3, L2 공진회로에 의해서만 통과된다. 이때 공진 회로는 공진상태이므로 프리디스토터 출력 레벨은 입력신호 레벨과 같다.

만일 입력 신호 레벨이 쇼트키 다이오드의 turn-on level 이상이면 다이오드가 도통하여 다이오드는 일종의 저항과 같은 동작을 하여 리액턴스가 작용하게 된다. 이로인해 프리디스토터의 출력 신호는 입력신호에 비해 레벨도 낮아지고 위상도 지연되게 된다.

그러므로 프리디스토터의 출력은 일정 수준의 레벨을 유지할 수 있는 것이다.

3. Predistorter의 이득과 위상의 변화

그림 2는 그림 1 predistorter의 단순화된 등가회로이다. 등가회로의 S_{21} 은 다음 식과 같다.

$$S_{21} = \frac{2Z_0 Y}{1 + 2Z_0 Y} \quad (1)$$

$$Y = \frac{1}{R} + jaC \quad (2)$$

R은 직렬다이오드의 등가저항이고 C는 다이오드의 병렬 커패시턴스 C_p 와 다이오드의 접합용량 C_j 의 합이며 Z_0 는 특성 임피던스이다.

RF신호 입력 전력이 증가하면 평균 전류도 증가하게 된다. DC 전류의 증가는 파형의 푸리에 변환 계산에 의해 증명될 수 있는데 그것은 순방향 다이오드 전류의 증가와 등가 저항 R의 감소를 의미한다.

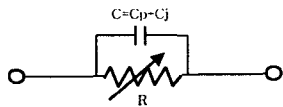


그림 2 병렬 capacitor에 의한 직렬 다이오드의 등가회로

식 (1)과 식 (2)에 의해 다이오드 등가저항의 변화에 대한 이득과 위상 변화의 계산 결과를 그림 3과 그림 4에 보이고 있다.

그림3과 그림4는 등가저항 R이 10~200[Ω]까지 변할 때의 결과이다. 여기서 병렬 커패시턴스 C_p 와 다이오드의 접합용량 C_j 의 합인 C는 1 pF 으로 정

해져 있고 입력신호 주파수는 1.8 GHz이다.

그림3은 등가저항 R이 10~100[Ω] 사이의 범위에서 S_{21} 의 진폭이 단조롭게 변화하는 것을 보여주고 있다.

예를 들어 신호 입력 레벨이 증가하게 될 때 직렬로 연결된 다이오드의 등가저항이 커져 전압 강하가 발생하게 된다. 이로 인해 입력 신호의 레벨은 프리디스토터를 지나면서 레벨이 감소하게 되어 전력증폭기가 선형 영역에서 동작할 수 있게 된다.

그림4는 등가저항 R이 10~100[Ω] 사이의 범위에서 S_{21} 의 위상이 단조롭게 변화하는 것을 보여주고 있다.

신호 입력 레벨이 증가 함에 따라 쇼트키 다이오드의 등가 저항이 커지게 되고 이에 따라 predistorter의 리액턴스가 커지게 되어 전류 위상은 지연되게 된다.

만일 신호입력 레벨이 작아 다이오드가 turn-off 상태이면 predistorter의 입출력 위상은 동일하게 된다.

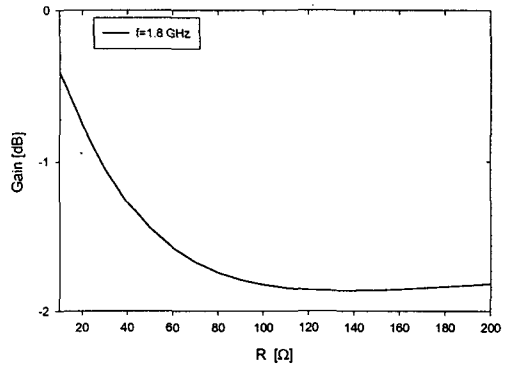


그림 3 등가저항 R이 변할 때 진폭의 변화

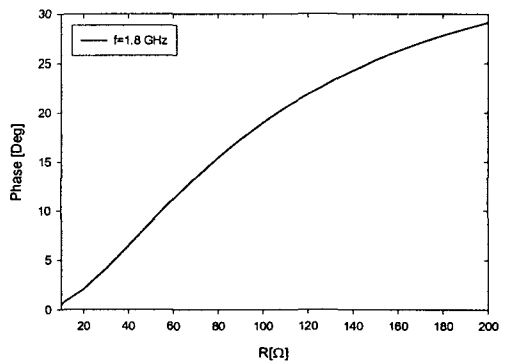


그림 6 등가저항 R이 변할 때 위상의 변화

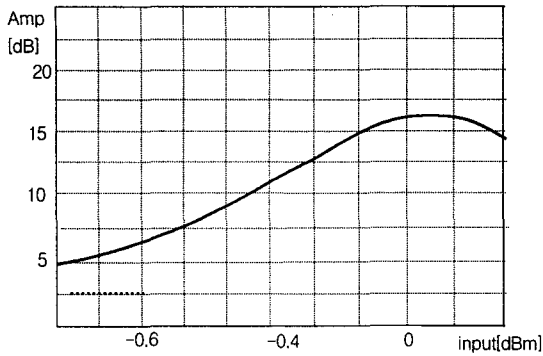


그림 5 입력의 변화에 따른 predistorter 출력 진폭의 변화

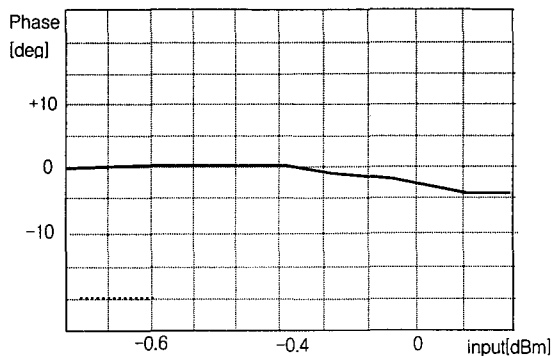


그림 6 입력의 변화에 따른 predistorter 출력 위상의 변화

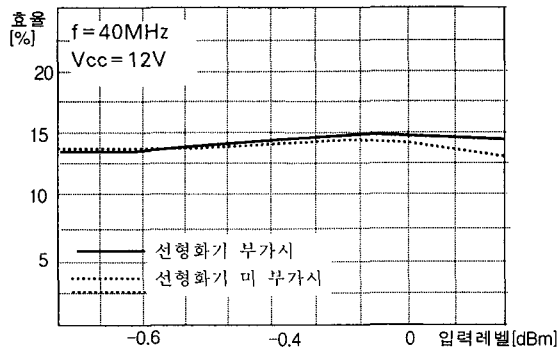


그림 7 전력증폭기의 효율 특성 비교

3. Predistorter의 입출력 관계

위의 predistorter의 등가회로의 특성에 따른 입출력 특성을 살펴보면 다음과 같다.

그림 5와 그림 6은 predistorter의 입력 레벨에 따른 진폭과 위상의 변화를 실험에 의하여 plotting한 것이다.

진폭이나 위상 모두 쇼트키 다이오드가 turn-on하는 시점을 기점으로 하여 서서히 진폭은 감소하고 위상도 지연이 발생함을 알 수 있다.

이것은 입력 레벨이 증가함에 따라 다이오드가 turn-on이 되면서 등가저항이 증가하게 되어 등가적인

RLC 직병렬회로의 리액턴스가 증가하는 결과를 가져 오기 때문이다.

III. 입력 주파수에 따른 predistorter의 특성

그림 8과 그림 9는 직렬 다이오드를 이용한 predistorter회로의 입력 주파수의 변화에 대한 진폭과 위상 변화를 관측한 것이다. 이것은 이 predistorter가 다양한 주파수대에서 어떤 특성을 나타내는지 보기 위한 것이다.

800MHz, 1.8GHz, 2.2GHz는 각각 셀룰라, PCS, IMT-2000 주파수 대를 의미한다.

그림 8과 그림 9에서 보면 프리디스토터의 등가저항 R이 작을 때는 주파수의 변화에 관계없이 이득이나 위상이 일정하다가 저항이 커질수록 주파수에 따라 특성이 변화함을 알 수 있다.

진폭 특성을 보면 800MHz대에서 진폭특성이 비선형 특성을 잘 나타내지 않다가 주파수가 올라가서 2.2GHz대로 이것은 입력 신호레벨이 작을 때는 주파수에 따른 특성의 변화가 없으나 신호레벨이 커지게 되어 1.9GHz 이상에 되면서 확실한 비선형특성을 나타냄을 확인할 수 있었다.

위상 특성도 마찬가지로 1.9GHz대 이상에서 비선형 특성을 확실하게 나타냄을 알 수 있다.

그러므로 본 연구에서 제안된 predistorter는 셀룰라 이동통신 보다는 PCS이상의 주파수대에서 효과적으로 사용될 수 있음을 확인하였다.

이에 따라 다이오드를 직렬로 사용한 predistorter를 WCDMA주파수대역에서 사용하기 위해서는 주파수에 따라 전력 증폭기의 특성을 보상하기 위한 diode에서 만드는 역함수의 모양이 달라지므로 사용주파수를 고려하여 predistorter를 설계하여야 한다.

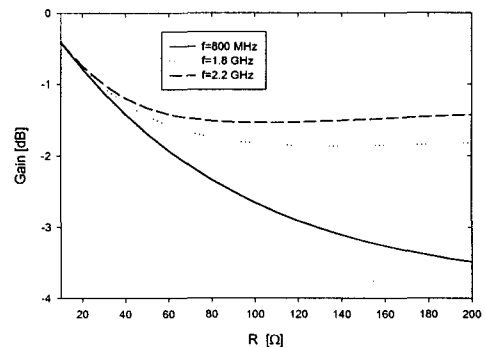


그림 10 Predistorter의 각 주파수대별 진폭 특성

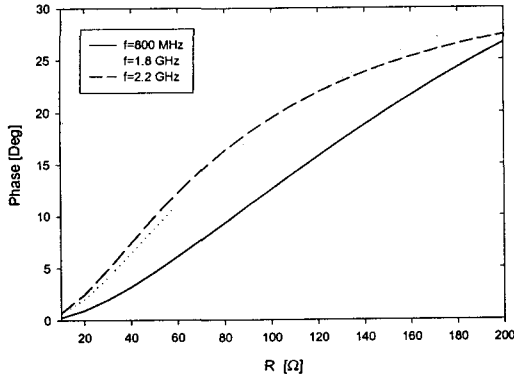


그림 11 predistorter의 각 주파수대별 위상 특성

IV. 선형화기가 부가된 전력증폭기의 특성

본 논문에서는 predistorter의 특성을 평가하기 위해 트랜지스터를 이용한 간략화된 C급 전력증폭기를 이용하였다. 이 C급 전력증폭기는 실험실 환경에서 모의실험을 위한 간략화된 모형이므로 실제 응용에서는 GHz 주파수를 고려한 설계가 이루어져야 한다.

쇼트키 다이오드를 이용한 predistorter가 전력증폭기의 비선형 왜곡을 보상해 줄 수 있음을 확인하기 위해 선형화기가 부가된 전력증폭기와 선형화기가 부가되지 않은 전력증폭기의 효율을 비교해 보았다.

본 실험에서는 입력 신호의 주파수는 전력증폭기의 특성을 고려하여 1.8GHz 대신 40MHz를 사용하였다. 입력신호의 레벨을 0.5V~1.5V까지 연속적으로 변화시키면서 각각의 경우 효율을 비교하여 본 결과 선형화기를 부가한 경우가 효율 개선 효과가 터 큼을 확인할 수 있다.

실험에 의하면 입력 신호레벨이 -0.4dBm이하일때는 선형화기를 부가하지 않은 경우와 선형화기를 부가한 경우의 효율이 거의 같으나 입력 레벨이 -2dBm을 넘어서면서 선형화기를 부가한 경우의 효율이 더 높게 나타나는 것을 확인할 수 있다.

이와 같은 결과는 -2dBm 정도의 입력이 전력증폭기로 들어가면 전력증폭기가 포화상태가 되어 전력증폭기가 비선형 영역에서 동작하므로 효율이 저하되기 때문이다. 전단에 predistorter를 부가하면 -0.2dBm이상의 신호가 들어가더라도 전력증폭기 전단의 predistorter에서 신호 레벨을 미리 감쇄시켜 전력증폭기가 선형영역에서 동작할 수 있으므로 효율의 저하를 막을 수 있게되어 효율이 저하되지 않는다.

그러므로 이 predistorter를 간략화된 C급 전력증폭기에 사용하여 실험한 결과 입력 레벨이 1dBm 이상에서 약 3(%)이상의 효율이 개선되는 효과를 얻을 수 있었다.

V. 결론

이상에서와 같이 쇼트키 다이오드를 이용한 predistorter는 전력증폭기의 비선형 특성을 간편하게 보상하여 선형화시킬 수 있음을 확인하였다.

이 predistorter는 다이오드의 turn-on 레벨을 중심으로 입력 신호레벨이 다이오드의 turn-on 레벨보다 작으면 LC 공진회로로만 입력신호가 통과하여 진폭과 위상에 변화가 없으나 turn-on 레벨보다 높은 입력 신호가 들어오면 다이오드가 turn-on되어 다이오드가 등가저항으로 작용하여 진폭을 감소시키고 위상을 지연시키게 된다.

이와 같은 predistorter의 특성 때문에 전력증폭기에는 일정 레벨 이상의 신호가 들어오지 않게 되고 그에 따라 전력증폭기는 항상 선형 영역에서만 동작하게 되어 전력증폭기의 효율이 개선될 수 있다.

이 predistorter를 간략화된 C급 전력증폭기에 사용하여 실험한 결과 입력 레벨이 40MHz, 1dBm 이상에서 약 3(%)이상의 효율이 개선되는 효과를 얻었다.

실제로 predistorter 특성을 제대로 얻기 위해서는 1.9GHz나 2.2GHz의 마이크로웨이브 주파수대가 적합한 것으로 확인되었다.

향 후 이 회로를 이동 통신에 적합한 1.8GHz 이상에서 사용할 수 있도록 연구가 이루어 진다면 휴대폰에 사용되는 전력증폭기에도 적용이 가능할 것으로 전망된다.

V. 참고문헌

- [1] Shawa P. Stepleton, "Amplifier Linearizing Using Adaptive RF Predistortion," Aligent Technologies, 1997.
- [2] Stephen A. Maas, Nonlinear Microwave Circuits, Artech House, 1988.
- [3] 정용채, 장익수, 김철동 "선형화기 설계방식에 대한 고찰," 전자공학회지, 제 24권, 제 1호 pp. 14~20, 1997년 1월.
- [4] Kazuhisa Yamauchi, Kazutomi Mori and Masatoshi Nakayama, "A microwave miniaturized linearizer using a serial diode," Mitsubishi Electric Corporation Information Technology R&D Center, Japan.
- [5] Lawrence Larson, "Device and circuit approaches for improved wireless communication transmitters," IEEE Personal Communcation, Oct. 1999.
- [6] C. Hsieh and E. Strid, "A S-band high power feedback amplifier," Proc of IEEE, MTTT-S, pp. 182-184, 1997.