

# Predistortion Circuit을 이용한 Mixer의 선형화에 관한 연구

김 영 욱, \*김 영 식  
서울대학교 전기공학부, \*한동대학교 전산전자공학부  
전화 : 02-841-2888 / 핸드폰 : 011-9953-9429

## Linearized Mixer Using Predistoriton Technique

Young Wook Kim, Youn sik Kim\*  
Dept. of Electrical Engineering, Seoul National University  
\*School of CSEE, Handong University  
E-mail : gentkail@hanmail.net

### Abstract

To reduce third-order intermodulation distortion(IMD3) generated in the down-conversion process of the mixer, predistortion technique was proposed and its performance was verified for Cellular band circuit. This method is based on the fact that down converted IMD3 of a down conversion mixer could be canceled by that of predistoriton with a fine tuned vector modulator. Two tone test has been performed at 836 Mhz with 442 KHz separation. The results showed that IM3 level was improved about 16dB and P1dB of the mixer was increased 3dB. From the above results, the suggested technique is useful to design the down converters for communication system.

### I. 서론

최근의 무선통신에서는 주파수 효율을 높이기 위해 QPSK, QAM 등과 같은 디지털 변조방식을 사용하고 있다. 그런데 이러한 변조신호는 시간에 따라 포락선이 변화하기 때문에 시스템의 선형성이 매우 중요하다. 믹서는 무선통신에서는 주파수 변환을 위해 필수적인 소자로써 넓은 다이내믹 영역을 위해 높은 P1dB와 IP3가 요구된다.[1] 현재로서는 믹서를 선형적으로

동작시키기 위해서 Back off하는 방법이 주로 사용되고 있고, 최근에는 Feed forward를 이용한 방법 등이 연구된바 있다.[2][3] 하지만 아직까지는 Predistortion Circuit(PD)을 응용한 믹서의 선형화 방법은 제시된 바 없다. 전치왜곡방식은 주로 Power Amplifier의 선형화에 사용되던 방법으로 제작이 용이하고 선형성 개선효과가 크며 Band Width 또한 수십 Mhz에 이르는 장점이 있다.[4] 이에 본 논문에서는 믹서의 비선형 특성으로 인해 발생하는 IF대역에서의 IM3성분을 상쇄시키기 위하여 전치왜곡을 이용한 믹서의 새로운 선형화 방식을 제안하였다. 제안된 전치왜곡 방식을 이용하여 Cellular 대역의 믹서를 제작하였고 Two Tone Test 실험을 통해 선형성을 조사하였다. 이번 연구를 통해 전치왜곡을 이용한 믹서의 선형성 개선효과를 검증하고 그 성능을 확인하였다.

### II. 전치왜곡 이론

믹서의 선형화를 위해 제안된 전치 왜곡기의 회로도 는 그림 1.에 보는 바와 같다. 이 회로는 입력 신호를 왜곡시킨 후 왜곡된 신호에서 입력신호를 제거하여 오차 신호만을 추출해 내는 부분과 그 오차신호의 크기와 위상을 제어하여 입력신호에 더하는 부분으로 이루어져 있다. 이렇게 전치 왜곡기에서 발생한 위상과 크

기가 조절된 비 선형 성분들은 주파수 변환 과정에서 발생한 믹서의 비 선형 성분을 제거하게 된다. 전치 왜곡기의 전달함수는 Taylor Series로 식(1)과 같이 전개할 수 있다.

$$PD_{out} = a_0 + a_1x + a_2x^2 + a_3x^3 + a_4x^4 + \dots \quad (1)$$

(  $a_n$  is constant,  $x$  is input of PD )

여기서 입력 신호  $x$ 를  $A_{in}\cos(w_1t) + A_{in}\cos(w_2t)$ 라 하면, 전치 왜곡기의 비 선형성으로 인해 Intermodulation 성분이 발생하게 되어 PD의 출력 신호는 식(2)가 된다.

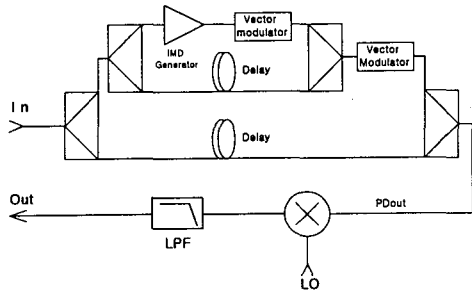


그림 1. 전치 왜곡기를 이용한 믹서 선형화 회로

$$PD_{out} = a_0 + a_1A_{in}(\cos(w_1t) + \cos(w_2t)) + \frac{3a_3A_{in}^3}{4}(\cos(2w_1t - w_2t) + \cos(2w_2t - w_1t)) + \dots = b_0 + b_1(\cos(w_1t) + \cos(w_2t)) + b_2(\cos(2w_1t - w_2t) + \cos(2w_2t - w_1t)) + \dots \quad (2)$$

(  $a_0 = b_0$ ,  $a_1 \cdot A_{in} = b_1$ ,  $3a_3 \cdot A_{in}^3 / 4 = b_2$  )

전치 왜곡기의 출력신호  $PD_{out}$ 은 LO신호와 함께 Mixer의 입력 신호가 된다. 그리고 Mixer의 전달함수 또한 Taylor Series로 다음과 같이 전개될 수 있다.

$$M_{out} = c_0 + c_1x' + c_2x'^2 + c_3x'^3 + c_4x'^4 + \dots \quad (3)$$

(  $c_n$  is constant and  $x' = \text{input of mixer} = PD_{out} + LO$  )

Mixer의 입력에 LO신호  $L\cos(w_Lt)$ 와  $PD_{out}$ 을 가한 후 Mixer의 출력을 Low Pass 필터를 통과시키면 아래와 같은 IF신호 성분이 추출된다.

$$IF_{out} = b_1c_2L\cos(w_1t - w_Lt + \theta_1) + b_1c_2L\cos(w_2t - w_Lt + \theta_1) + b_2c_2L\cos(2w_1t - w_2t - w_Lt + \theta_2) + b_2c_2L\cos(2w_2t - w_1t - w_Lt + \theta_2) + 3/4 \cdot c_4b_1^3 L\cos(2w_1t - w_2t - w_Lt + \theta_3) + 3/4 \cdot c_4b_1^3 L\cos(2w_2t - w_1t - w_Lt + \theta_3) + \dots \quad (4)$$

(  $\theta_1, \theta_2, \theta_3$  are phase delay )

위의 식(4)으로부터 다음 조건을 만족시킬 때 IM3성분이 서로 상쇄될 수 있음을 유추할 수 있다.

Amplitude:  $b_2c_2 = 3/4 \cdot c_4b_1^3$   
Phase:  $\theta_2 = \theta_3 + 180^\circ$

따라서 벡터 모듈레이터를 이용하여 전치왜곡에서 생성된 IM3신호의 크기와 위상을 적절히 조정하면 믹서의 IM3성분을 제거할 수 있다.

### III. 회로제작 및 실험

본 연구에서는 제안된 방식을 검증하기 위해서, 제안된 전치왜곡 선형화 회로는 Cellular대역에서 제작되었다. 전력분배기와 결합기로는 3dB 커플러를 사용하였으며, 전치 왜곡기에서 나오는 오차신호는 Mixer의 IF단의 IM3보다 커야 함으로 오차 신호 생성기는 다음과 같은 조건을 만족시키는 비 선형 소자로 선택하였다.

Error Signal Generator의 IP3 <

Mixer의 IP3 + 2\*Vector Modulator의 최소 감쇄값 + 6 + Mixer의 Insertion Loss

믹서에는 2.5GHz까지 동작하고 RF와 LO의 최대 입력을 각각 7dBm과 10dBm을 가지는 Mini-Circuit사의 Balanced Mixer SCH-2500LH가 사용되었다. 벡터 변조기는 Pin Diode와 Hybrid Coupler를 이용하여 Reflection 형태로 만들었으며 구조는 그림 2와 같다.

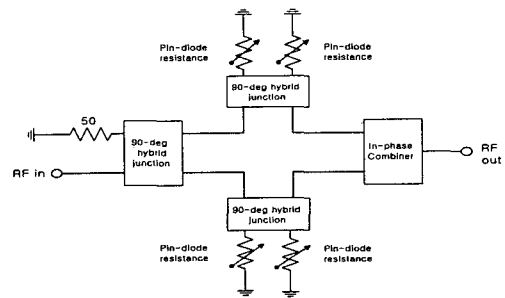


그림 2. 벡터변조기 회로

Two Tone Test는 현재 사용중인 836Mhz에서 442KHz 주파수 간격을 두고 시행되었으며 LO의 주파

## Predistortion Circuit을 이용한 Mixer의 선형화에 관한 연구

수는 766MHz를 사용하여 IF단의 70MHz에 출력신호를 발생시켰다.

### IV. 실험결과

실험 결과 Vector Modulator를 제어함에 따라 IM3 level이 변화함을 확인할 수 있었다. 제작된 Vector Modulator는 위상전이가 360도 가능하고 감쇄의 경우 3dB-20dB의 가변 값을 얻을 수 있었다. Group Delay는 매우 작고 위상 및 감쇄 변화에 따른 변화량 또한 미세한 특성을 지니고 있었다. Power Sweep을 하였을 경우 각 Power에 따라 개선효과가 가장 좋은 Vector Modulator의 Point는 달랐으나 선형성 개선 효과가 전 Power에 영역에 관해 우수한 점을 선택하였다. 그 조건에서 Mixer의 P1dB 보다 10dB Back-off한 출력 Power에서 제작된 Mixer를 실험하였으며 그 결과를 그림 3의 (a)와 (b)에 나타내었다. 그림에서 보듯이 전치왜곡 회로가 있을 경우 IM3 level이 약 16dB정도 개선됨을 확인할 수 있었고 Mixer의 IF 출력신호의 P1dB 또한 -7dBm에서 -4dBm으로 3dB 좋아졌음을 확인할 수 있었다.

그림 3. IF단 출력 스펙트럼 ( Two Tone Test )  
(a) 전치 왜곡기를 사용하지 않은 경우 (b) 전치 왜곡기로 선형화 한 경우

또한 Power Sweep에 따른 출력 Power와 IM3를 그림 4에 나타내었으며, 전치왜곡 회로에 의한 IM3 level 개선 효과를 확인할 수 있었다.

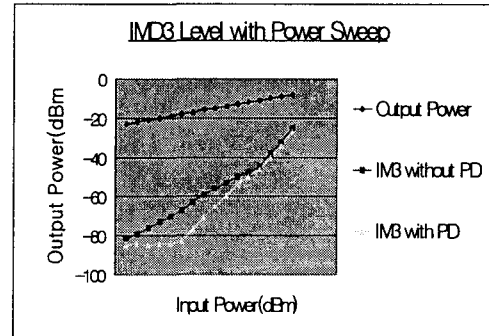


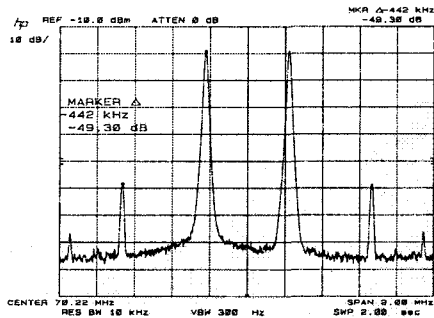
그림 4. 출력전력과 IM3 전력

### V. 결론

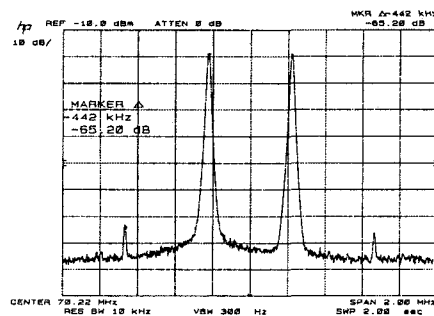
본 연구에서는 처음으로 전치 왜곡기를 이용하여 믹서를 선형화 하는 방식을 이용하여 선형성이 뛰어난 믹서를 제작하였다. 이 전치왜곡 방식은 Power Amplifier에 사용되던 것과 구조나 성능 면에서는 유사하나 동작원리에 있어서 LO에 의해 주파수 변환된 성분들의 상호작용으로 비 선형 부분이 상쇄된다는 차이가 있었다. 실험결과 약 16dB의 IM3 level 개선효과를 볼 수 있었으며 Mixer의 P1 dB를 3dB 증가시킬 수 있었다. 만일 필요에 따라 능동 적응제어 방법을 사용할 경우 더욱 뛰어난 성능의 Mixer를 제작할 수 있으리라 생각된다. 본 연구에서는 기존과는 다른 Mixer 선형화 방법을 제시하였고 이 방법은 통신시스템의 선형화 설계에 유용하다고 사료된다.

### 참고문헌(또는 Reference)

- [1] Barrie Gilbert, "A Highly Linear Variant of the Gilbert Mixer Using a Bisymmetric Class-AB Input Stage", IEEE Journal of Solid State Circuits, Vol 32, No. 9, Sept. 1997
- [2] M.chongcheaw chamnan, I.D. Robertson, "Linearized microwave mixer using simplified feedforward technique," IEEE Electronic Letter, April 1999,



(a)



(b)

pp.724-725

- [3] ELLIS T. J., REBEIZ G. M, "A modified feed-forward technique for mixer linearization," IEEE Microwave Symp Dig., MTT-S, 1998, pp.1-4
- [4] J. S. Kenney, A Leke, "Design consideration for multicarrier CDMA base station power amplifier," Microwave J., Vol. 42, No. 2, 1999, pp.76-83
- [5] Jaehyok Yi, Youngoo Yang, Myungkyu Park, Wonwoo Kang, Bumman Kim, "Analog predistortion linearizer for high-power RF amplifier," Microwave Theory and Techniques, IEEE Transaction, Vol. 48 Issue: 12, Dec. 2000, pp.2709-2713