

C/I 개선을 위한 전치왜곡 혼합기 설계

이 경 희, 정 용 채, 김 철 동*

전북대학교 전자·정보공학부 및 정보통신연구소, * 세원텔레텍

E-mail: a997188@cbnu.chonbuk.ac.kr

Design of Predistortive Mixer to Improve C/I

Kyoung Hee Lee, Yong Chae Jeong, Chul Dong Kim*

Dept. of Information & Communication Engineering, Chonbuk National Univ.

* Sewon Telech

E-mail: a997188@cbnu.chonbuk.ac.kr

T : 0652-270-2458 F : 0652-270-2461

Abstract

Because of nonlinear characteristics of diode, IMD(Intermodulation Distortion) characteristics of mixer is conspicuous on up- or down- conversion process. So to improve C/I of mixer, we proposed predistortive mixer design method which connects mixer with predistorted carrier signals besides carrier signals. As a result, C/I of mixer with Predistortor is improved more than 10dB than that of mixer without predistortor.

와 $f_{LO} + f_{RF}$ 가 발생한다. 이 때 $f_{LO} + f_{RF}$ 는 여파기로 제거된다. 즉, 수신단 down-converter에서는 $f_{LO} - f_{RF}$ 항이 IF신호가 되는 것이다. 이때 혼합기는 수신기 시스템의 첫단 또는 둘째 단에 놓이기 때문에 잡음 특성이 매우 중요하다. 혼합기의 잡음지수를 정할 때 입력이 단측파 신호인지 양측파 신호인지를 분명히 구분하여야 한다. 이는 혼합기가 두 개의 RF 주파수 ($f_c \pm f$)에 대해서 하나의 IF 출력을 발생시키며 따라서 두 주파수 성분에 대한 잡음전력이 합쳐지기 때문이다. 또한 Mixer의 성능은 Conversion Loss, RF와 LO 입력에 대한

I. 서론

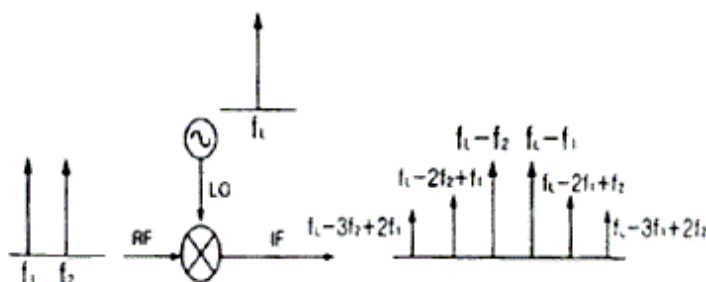
혼합기는 입력 신호의 주파수 변환(Frequency Conversion) 기능을 수행하는 것으로서 비선형 소자중의 하나인 다이오드를 많이 사용한다. 혼합기를 수신단에 적용할 때, RF 신호와 국부 발진 신호 LO(Local Oscillator)가 혼합되어서 중간 주파수(IF), $f_{IF} = f_{LO} - f_{RF}$

임피던스 정합, LO로부터 AM의 제거와 고조파 신호의 억제 정도에 따라 달라진다¹⁾.

혼합기에서 주파수 변환은 이미 언급 했듯이 다이오드 같은 비선형 소자를 사용하는데, 이것은 비선형 효과를 발생시킨다. 비선형 효과는 다수의 원하지 않는 고조파와 이로 인한 부산물인 혼변조 왜곡 성분(Intermodulation Distortion)들을 발생시킨다. 이들

신호들은 혼합기의 변환 손실을 증가시키고 신호의 왜곡을 야기시킨다. 예를 들어 RF 신호가 f_1, f_2 일 때 혼합기를 통해 주파수 변환되어 나타나는 2차 주파수 왜곡 성분들은 $2f_1, 2f_2, f_1 - f_2$ 및 $f_1 + f_2$ 주파수에서 발생된다. 이들 주파수는 일반적으로 기본 주파수인 f_1 과 f_2 로 부터 멀리 떨어져 있기 때문에 쉽게 여파될 수가 있다. 그러나 이러한 여파 특성도 광대역 증폭기나 광대역 수신 시스템에서는 불가능하다. 혼합기에서 원하는 출력 신호들은 $f_c - f_1$ 과 $f_c - f_2$ 이다. 하지만 실제로 혼합기는 3차 혼변조 신호들은 $3f_1, 3f_2, 2f_1 + f_2$ 및 $2f_2 + f_1$ (이들은 모두 여파기 제거 가능)로부터 $2f_1 - f_2, 2f_2 - f_1$ (이들은 여파기로 제거되기 어려움)에 이르기 까지 다양한 고조파 성분이 발생한다. 이 때 두 입력을 혼합함으로써 발생하는 결과를 혼변조 왜곡(Intermodulation Distortion)이라 하며 이러한 신호들은 인접 채널에 혼신 또는 잡음으로 존재하게 된다. 그림 1은 혼합기의 RF 및 LO 입력 주파수 스펙트럼에 따른 IF 단에서 나타나는 주파수 스펙트럼을 단순하게 표현한 것이다. 이때 LO 주파수가 RF 주파수보다 크다는 가정을 하였다.

두 신호의 3차 IMD의 부산물인 $2f_1 - f_2, 2f_2 - f_1$ 은 시스템의 동적 영역이나 대역폭등을 결정해야 하기 때문에 매우 중요하게 다루어져야 한다.



신호들의 출력을 저하시킬 수 있다. 특히 대역내에 위치하는 3차 혼변조 신호 성분 $2f_1 - f_2, 2f_2 - f_1$ 들의 영향이 가장 크기 때문에 기본 주파수 신호와 3차 혼변조 신호 레벨의 비로서 왜곡 정도를 많이 판단한다. 이것을 보통 $(C/I)_{3rd}$ 비(Carrier to 3rd order Inter-modulation ratio)라고 한다. 기존에 이 $(C/I)_{3rd}$ 를 개선시키기 위하여 수동 혼합기 경우에는 입력의 Back-off 혹은 Harmonic Balance Method를 이용하여 최적의 동작 상태를 조사하였고, 능동 혼합기의 경우에는 Dual Gate FET의 최적 동작 전압을 조사하는 방법들을 이용하였다²¹⁾. 하지만 이런 방법은 설계 및 성능 면에서 많은 어려움과 단점을 가지고 있기 때문에 본 논문에서는 혼합기에서 발생하는 왜곡 특성에 대하여 역왜곡 특성을 갖는 전치왜곡기(Predistorter)를 혼합기의 앞 단에 연결하여 $(C/I)_{3rd}$ 가 개선되도록 하였다.

전치 왜곡 방식은 입력 RF 신호가 혼합기에서 만들 왜곡 신호 성분을 고려하여 역의 왜곡 신호 성분들을 발생시키는 전치 왜곡 회로를 미리 혼합기의 입력측에 부가하여 혼합기에서 발생하는 왜곡 성분을 상쇄시키는 방식이다.

그림 2는 본 논문에서 제안하는 전치 왜곡 혼합기의 회로도 이다²¹⁾. 전치 왜곡 회로는 크게 ALC(Auto level controller) 회로, 역 왜곡 신호를 발생시키는 하모닉 신호 발생기(HG : Harmonic Generator), 가변 위상 변환기(Phase Shifter), 가변 감쇄기(Attenuator), 군속도 지연기로 이루어진다. 먼저 입력 단에 입력된 반송파 신호들은 전력 분배기에 의해 군속도 지연기와

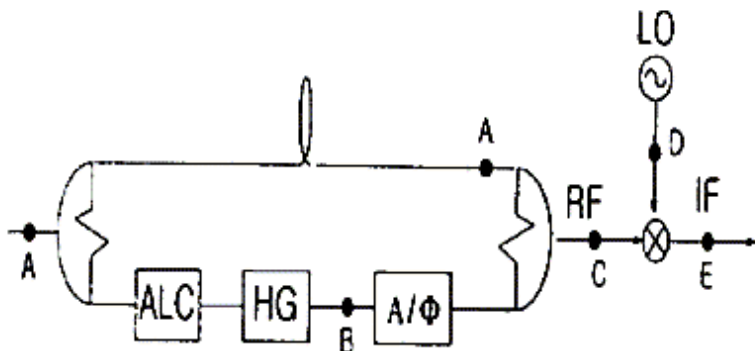
그림 1. 혼합기의 입출력 스펙트럼 특성

II. 본론

기본 주파수 외에 생기는 spurious 주파수 신호들은 혼합기의 하향 변환 주파수 신호들에 영향을 미치고 이

ALC 커도도 판기된다. ALC 커도계기는 HG에기 드
왜곡 신호를 가장 많이 발생시키는 입력 전력 레벨을
조사한 후에, 혼합기에 인가되는 전력 레벨이 변하여도
HG에 인가되는 전력은 항상 일정하도록 동작시킨다.
ALC 출력 신호들은 HG에 인가되어 혼변조 왜곡
신호들을 발생시킨다. 발생된 혼변조 신호 성분들은
가변 위상 변환기와 가변 감쇄기를 이용하여 혼합기

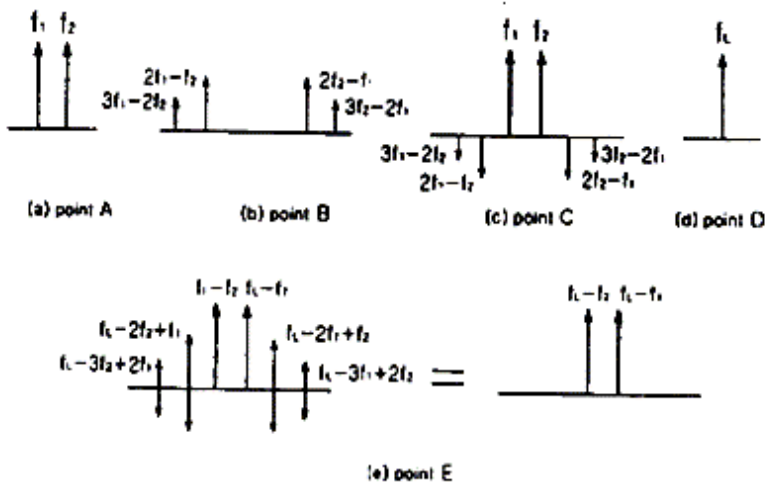
에서 발생된 혼변조 왜곡 신호들과 역의 특성을 갖도록 그 진폭과 위상이 조정된다. 이 혼변조 신호들은 균속도 지연기를 거친 반송파 신호들과 합쳐져서 혼합기에 인가된다. 즉, 반송파 신호들은 IF 신호들로 변환되고 또한 혼변조 신호들 역시 주파수 변환이 되면서 반송파 신호들의 주파수 변환 시에 생기는 혼변조 왜곡 신호들과 합성되어 혼변조 왜곡 신호들을 제거하게 된다.



ALC: Auto level controller

HG: Harmonic Generator

A/φ: Attenuator & Phase Shifter



주파수는 각각 1852MHz와 1857MHz이고 LO 신호는 2015MHz로 설정하였다. 이 반송파 신호들과 극변발전기의 신호 합성에 의한 혼합기의 하향 주파수 변환 특성을 표 1에 나타내었다. 즉 IF 반송파 주파수 158MHz 와 162MHz 신호 레벨에 따른 3차 혼변조 레벨의 비율 나타내었다. 이 때 혼합기의 주파수 변환 손실은 9dB이다.

한편 전치 왜곡 회로의 ALC의 출력 레벨은 -2 dBm/tonne이 되도록 하였고, 이 출력 레벨에 의해서 HG에서 발생된 혼변조 신호 레벨은 -23.50 dBm/tonne이다. 그리고 수동으로 가변 위상 변환기, 가변 감쇄기를 조정하여 위상과 진폭을 변화시켰다. 이때 HG에 사용된 다이오드는 HP사의 HSMP-2800이고 가변 감쇄기에 사용된 다이오드는 HP사의 HSMP-4810이고 가변 위상 변환기에 사용된 다이오드는 Sony사의 1T362 이다 또한 HG, 가변 감쇄기, 가변 위상 변환기 모두 반사 특성을 좋게 하기 위해 반사형 구조를 이용하였으며 사용된 3dB 하이브리드는 Anaren사의 1A1305-3이다.

이 전치 왜곡 회로를 사용한 혼합기의 $(C/I)_{3dB}$ 를 표 1에 나타냈다. 하향 변환된 반송파 신호 레벨이 -11 dBm/tonne ~ -21dBm/tonne 일 때 $(C/I)_{3dB}$ 가 10.01 dB ~ 13.50 dB가 개선되는 것을 볼 수 있다. 그림 3은 IF 출력이 -12dBm/tonne 일 때 전치 왜곡 회로를 사용하지 않은 혼합기와 전치 왜곡 회로를 사용한 혼합기의 출력 특성이다. 또한 그림 4는 IF 출력이 -16dBm/tonne 일 때 전치 왜곡 회로를 사용하지 않은 혼합기와 전치 왜곡 회로를 사용한 혼합기의 출력

그림 2. 전치 왜곡 혼합기의 회로도 및 스펙트럼 특성이다.

III. 실험 및 결과

본 논문에서 사용된 혼합기와 국부 발진기는 Mini - Circuits사에서 제공하는 LRMS-30J와 JTOS-2200P를 각각 사용하였고 반송파 신호의 2-tone

IV. 결론

본 논문에서는 혼합기에서 발생하는 왜곡 특성에 대하여 역 왜곡 특성을 발생시키는 전치 왜곡 회로를 사용한 혼합기 설계 방법을 제시하였다. 제시한 혼합기

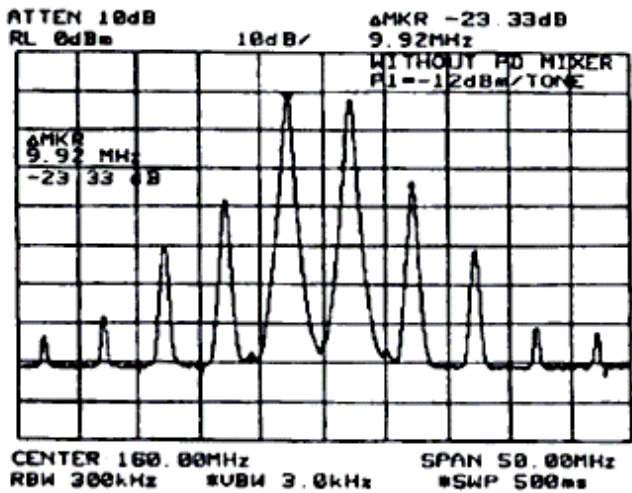
표 1. 전치 왜곡 회로 사용에 따른
혼합기 C/I_{3rd} 특성 비교

IF Level [dBm/ton e]	Without Predistortor C/I_{3rd} [dBc]	With Predistortor C/I_{3rd} [dBc]	개선량 (dB)
-11	-20.67	-32.00	11.33
-12	-23.33	-34.83	11.50
-13	-26.17	-38.50	12.33
-14	-28.00	-40.00	12.00
-15	-29.83	-42.17	12.34
-16	-32.00	-45.50	13.50
-17	-34.17	-47.00	12.83
-18	-36.33	-48.83	12.50
-19	-38.33	-49.33	11.00
-20	-39.66	-49.67	10.01
-21	-42.34	-53.00	10.66

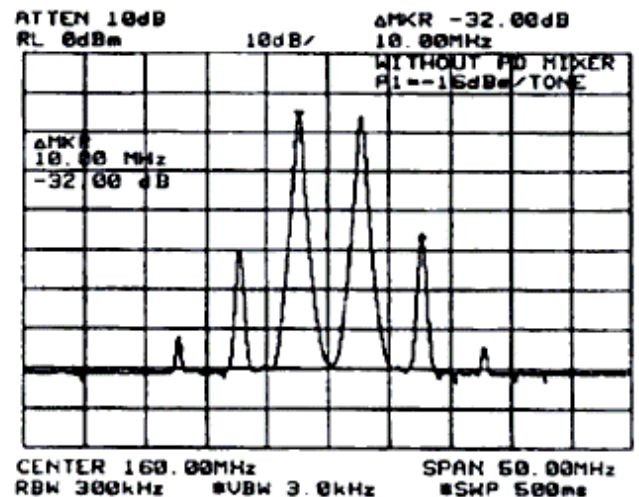
설계 방법은 비록 수동 혼합기에 적용하였지만 능동 혼합기 설계에도 적용 가능하다고 판단되며 기지국 상하향 주파수 변환 회로에 적용할 경우 전체 통신 시스템 성능 개선에 기여할 것으로 기대된다.

참고문헌

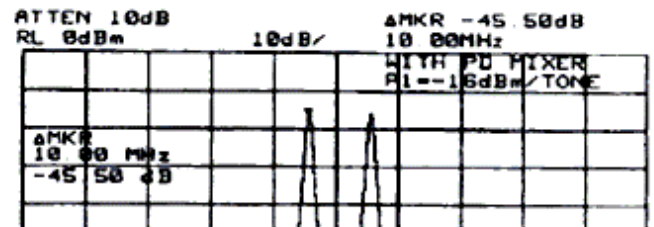
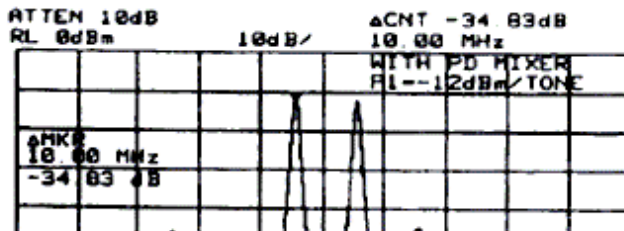
- [1] David M. Pozar, "Microwave Engineering", Addison-Wesley, 1990
- [2] Stephen A. Maas, "Microwave Mixers", Artech House, 1993
- [3] 정 용채, 혼변조 신호의 개별 차수 조정 Predistortion 선형화기 설계, 박사학위논문, 서강대학교, 1996

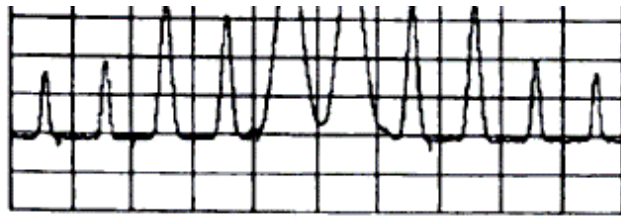


(a)



(a)





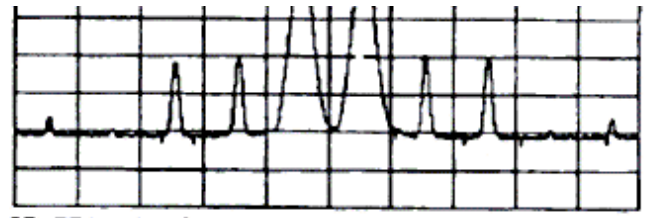
CENTER 168.00MHz SPAN 50.00MHz
 RBW 300kHz #VBW 3.0kHz #SWP 500ms

(b)

그림 3. (a) 전치 왜곡 회로를 사용하지 않은 혼합기 특성

(b) 전치 왜곡 회로를 사용한 혼합기 특성

($P_0 = -12\text{dBm}/\text{tone}$ 일 때)



CENTER 168.00MHz SPAN 50.00MHz
 RBW 300kHz #VBW 3.0kHz #SWP 500ms

(b)

그림 4. (a) 전치 왜곡 회로를 사용하지 않은 혼합기 특성

(b) 전치 왜곡 회로를 사용한 혼합기 특성

($P_0 = -16\text{dBm}/\text{tone}$ 일 때)

[ÀÀü](#) [Ã³À½](#)