

2차 고주파 하모닉 신호의 feedforwarding에 의한 전치왜곡 선형화기 설계

김성용, 장미애, 김영, *정용채

국립금오공과대학교 전자통신공학과, *전북대학교 전자.정보공학부

전화 : (054) 467 - 4258 / 팩스 : (054) 461-9096

A Design of Predistortion Linearizer using Second Harmonic Components Feedforwarding

Sung yong Kim, Mi Ae Jang, Young Kim, *Yong Chae Jeong

Dept. of Radio Communication Eng. Kumoh National Institute of Technology

* Dept. of Electronics & Information Engineering, Chonbuk National University

E-mail : dlxowk@kumoh.ac.kr

Abstract

In this paper, a new predistortion linearizer using second harmonic components feedforwarding is proposed. The harmonic generator of the proposed predistorter that consists of a small signal amplifier extracts the second order high frequency IM signals. A vector modulator that modulate fundamental signal with the second order high frequency IM signals, generates predistorted IM signals and controls amplitude/phase of them with modulation factors. As a result, this predistorter is suppressed nonlinear components of power amplifier effectively. The test results show that the third order IM is cancelled more than 20dB for CW two-tone signals. Also, it's improved the adjacent channel power ratio (ACPR) more than 9dB for CDMA (IS-95) signals.

QAM과 같은 변조 기법은 캐리어 주파수의 크기와 위상이 모두 변하는데 전력 증폭기의 비선형 증폭 특성에 의해서 상대적 진폭과 위상의 왜곡이 발생되고, 이는 인접 통신 채널에 간섭으로 작용하게 된다. 증폭기들의 이러한 비선형적인 특성을 개선하기 위해서 여러 가지 선형화 기법들이 제안되어졌는데, 대표적으로 피드포워드, 피드백, 그리고 전치왜곡 선형화 방식 등이 있다.[1] 최근에는 하모닉 피드백, 하모닉 피드포워드 그리고 베이스밴드 피드포워드 방식 등이 제안되어졌다.[2][3][4]

본 논문에서는 하모닉 발생기에서 2차 고주파 하모닉 신호를 추출한 다음, 벡터 모듈레이터(Vector Modulator)[5]에서 동 위상(In-phase)과 직각 위상(Quadrature-phase)으로 나누어진 주 신호와 2차 고주파 하모닉 신호를 진폭 변조(AM) 시킨다. 여기서 진폭 변조된 신호는 3차 혼변조(Intermodulation Distortion, IM3) 신호를 만든다. 논문에서 제안된 카테시안(Cartesian) 형태의 전치왜곡 선형화기는 2차 고주파 하모닉 신호의 크기만을 조절하여 전력 증폭기에서 생성되는 3차 혼변조 신호와 역의 특성을 갖는 신호를 만들어 내는 이론적 설명과 제안한 선형화기의 블록도와 그에 따른 동작원리에 대해 설명하고, 이것의 타당성을 보이기 위해서 모토롤라사의 MHL9838 전력증폭기를 선형화시켰다.

서론

최근 사용되고 있는 디지털 변조 방식인 QPSK나

본론

I. 이론적 해석

에서 생성될 3차 혼변조 신호와 크기는 같고 위상 차이가 되게 미리 넣어줌으로써 증폭기를 선형화 할 것이다.

II. 선형화기의 동작원리

일반적으로 능동회로의 비선형 전달특성은 파워 시리즈로 나타낼 수 있다.[6]

입력 신호가 $v_i(t)$ 이고, 출력 신호가 $v_o(t)$ 일 때, $v_o(t)$ 는 식(1)과 같이 3개의 항만 고려한 근사적인 표현 식으로 쓸 수 있다.

$$v_o(t) = a v_i + b v_i^2 + c v_i^3 \quad (1)$$

위의 (1)식에서 계수 a, b, c 는 비선형 상수이다.

아래와 같이 진폭이 같은 2-톤 신호가 비선형 능동 회로에 입력된 경우를 가정할 수 있다.

$$v_i = A(\cos \omega_1 t + \cos \omega_2 t) \quad (2)$$

파워 시리즈 표현 식에서 두 번째 항에 의해 아래와 같은 2차 고주파 하모닉 신호 $2\omega_1, 2\omega_2, (\omega_1 + \omega_2)$ 를 얻을 수 있다..

$$H = b v_i^2 = b A^2 \left[\cos 2\omega_1 t + \cos 2\omega_2 t + 2 \cos(\omega_1 + \omega_2)t + 2 \cos(\omega_2 - \omega_1)t \right] \quad (3)$$

식 (3)에서 얻어진 $2\omega_1, 2\omega_2, (\omega_1 + \omega_2)$ 성분이 벡터 모듈레이터에서 동 위상과 직각 위상으로 나누어진 주 신호를 진폭 변조 시킨다. 진폭 변조한 동 위상 성분과 직각 위상 성분을 수학적으로 나타내면 다음과 같다.

$$v_I = A[1 + A' \cos 2\omega_1 t + B' \cos 2\omega_2 t + C' \cos(\omega_1 + \omega_2)t] \cdot (\cos \omega_1 t + \cos \omega_2 t) \quad (4)$$

$$v_Q = A[1 + A' \cos 2\omega_1 t + B' \cos 2\omega_2 t + C' \cos(\omega_1 + \omega_2)t] \cdot (\sin \omega_1 t + \sin \omega_2 t) \quad (5)$$

여기서 A: 2-톤 신호의 크기.

A': 2차 고주파 하모닉 성분인 $2\omega_1$ 신호의 진폭

B': 2차 고주파 하모닉 성분인 $2\omega_2$ 신호의 진폭

C': 2차 고주파 하모닉 성분인 $(\omega_1 + \omega_2)$ 신호의 진폭

식(4), (5)식에 의해 생성된 동 위상과 직각 위상 신호의 크기를 조절하여 선형화 하고자하는 전력 증폭기

그림1은 제안된 선형화기의 블록 다이어그램이다. 제안된 선형화기는 방향성 결합기, 3dB 하이브리드 합기, 지연 선로, 가변 이득 조정기, 자동 레벨 조정(Automatic Level Control: ALC), 하모닉 발생기, 전분배기 등으로 이루어진다. 입력된 2-톤 신호는 방향성 결합기를 통해 주 신호 패스와 하모닉 발생 경로로 나누어진다. 주 신호는 지연선로와 3dB 하이브리드 합기를 거쳐 0°와 90°만큼의 위상 차이를 갖는 동 위상과 직각 위상 신호로 나누어지고 이는 다시 진폭 조정 회로에 입력된다.

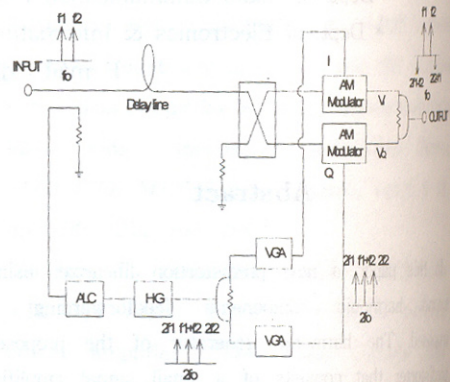


그림1. 제안된 선형화기의 블록 다이어그램

그리고, 2-톤 신호는 10dB 방향성 결합기를 통과하여 ALC 회로에 입력된다. ALC 회로는 가입자의 사용 정도에 따라 전력 레벨이 변화되고, 하모닉 발생기 출력 신호들은 입력 신호 레벨에 따라 출력 특성과 정합 조건이 달라지므로, 하모닉 발생기의 입력 변화에 무관하게 하모닉 발생기가 일정한 2차 고주파 혼변조 신호가 발생되도록 하기 위한 것이다. ALC회로를 거쳐 하모닉 발생기에서 2차 고주파 하모닉 신호를 추출한다. 다음, 전력 분배기에 입력된다.

그림2는 하모닉 발생기의 블록 다이어그램이다.

그림2에서 보는 것처럼, ALC 회로를 거친 일정한 2-톤 신호가 소신호 증폭기의 입력으로 들어가면 출력에서는 DC, 주 신호, 하모닉 신호들이 모두 생성된다. 여기서 2차 고주파 하모닉 신호만을 추출한다.

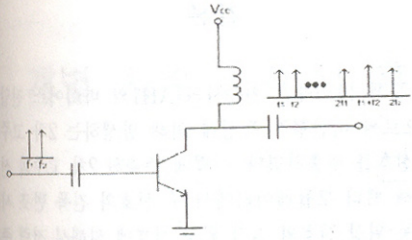


그림 2. 하모닉 발생기의 회로도

이렇게 하모닉 발생기에서 추출한 2차 고주파 하모닉 신호는 전력 분배기에서 분기되어 각각의 가변 이득 조정기로 입력된다. 가변 이득 조정기는 2차 고주파 하모닉 신호의 크기만을 각각 조절한다. 즉, 식(4), (5)에서 알 수 있듯이 2차 고주파 하모닉 신호의 크기인 A'B'C'을 조절해줌으로써 3차 혼변조 신호의 크기와 위상을 조절할 수 있다. 이것은 진폭 변조된 동 위상과 직각 위상 신호로 전력 증폭기의 3차 혼변조 신호의 역의 성분을 벡터적으로 생성하여 선형화 시키는 것이다.

III. 실험 결과

이러한 선형화 방법의 타당성을 입증하기 위해 그림1과 같은 선형화기를 제작하였다. 실제 선형화하기 위해 사용된 전력 증폭기는 와킨 존슨 사의 AH1과 모토롤라사의 MHL9838을 직렬로 연결하여 그 선형성 정도를 확인하였다. 와킨 존슨 사의 AH1은 입력 드라이브 증폭기로서 사용하였다. 모토롤라사의 MHL 9838 전력 증폭기의 이득과 P1dB는 각각 31dB와 33dBm/1tone이다. 또한 사용된 벡터 모뮬레이터는 3dB 하이브리드 커플러와 바랙터 다이오드로 구성하였다. 그리고, 하모닉 발생기로서 사용한 트랜지스터는 와킨 존슨 사의 AH1이다. 하모닉 발생기에서는 2차 고주파 하모닉 신호를 만들어 주기 위해 드레인의 바이어스 전압을 적절하게 조절하였다.

그림3은 하모닉 발생기 출력에서 측정한 파형이며, 주파수 880MHz, 881MHz의 2-톤 신호에 대한 2차 고주파 하모닉 신호의 파형이다.

또, 주 신호 경로의 지연 선로는 2차 고주파 혼변조 신호와 시간적으로 같은 시간만큼 지연을 시켜 진폭 변조될 수 있도록 하기 위한 것으로 12.4nsec.의 지연 선로를 사용하였다.

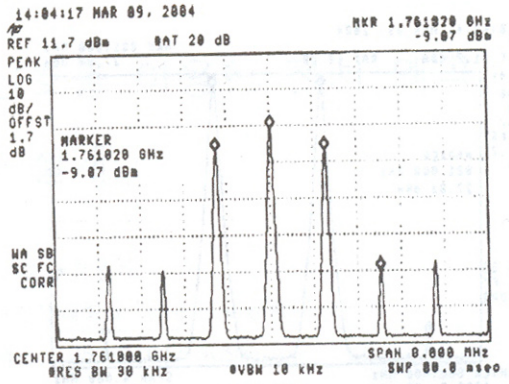
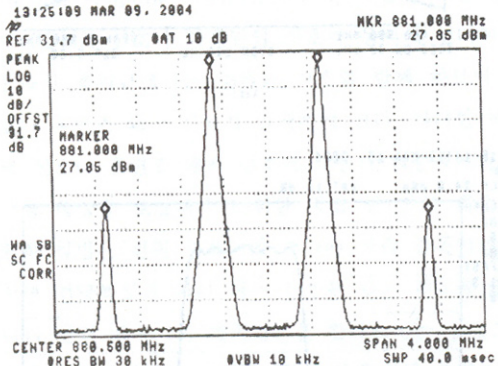


그림3. 2-tone 입력시 하모닉 발생기 출력에서의 2차 고주파 하모닉 신호 파형($\Delta f=1\text{MHz}$)

그림4는 2-톤 입력 조건에서 입력 주파수가 880MHz, 881MHz 일 때, 출력 전력이 $P_o=28\text{dBm/1tone}$ 에서 측정 한 전력 증폭기 출력 파형이다. 여기서, 측정된 파형을 관찰해보면 3차 혼변조 신호가 26dB 개선되었음을 알 수 있다.

또, 그림5는 주파수 880MHz에서 출력 전력 레벨이 29dBm 상태에서 측정된 전력 증폭기 출력 파형으로 CDMA 1FA 신호 입력시 인접 채널 전력비(ACPR)가 9dB 개선되는 것을 보인다.



(a)

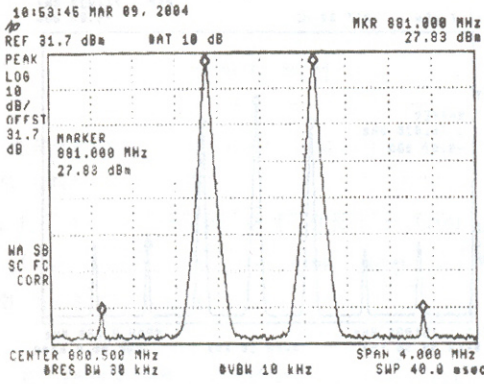
결론

본 논문에서는 와킨 존슨사의 AH1의 바이어스 전압을 조절함으로써 비선형적 특성에 의해 발생하는 2차 고주파 하모닉 신호를 추출하였다. 이렇게 추출한 2차 고주파 신호를 이용해 벡터 모뎀레이터에서 주 신호와 진폭 변조 시킴으로써 동 위상 신호와 직각 위상 신호에 의해서 전력 증폭기의 3차 혼변조 신호와 역의 특성을 갖는 신호를 생성하였다. 본 논문에서 제시한 선형화기의 타당성을 보이기 위해 2-톤 신호에 대해 3차 혼변조 신호는 26dB 개선됨을 확인하였고, CDMA (IS-95) 1FA 입력에 대해서 9dB 개선됨을 확인하였다.

본 논문에서는 3차 혼변조 신호를 생성하는 2차 고주파 하모닉 신호($2\omega_1, 2\omega_2, (\omega_1-\omega_2)$)의 크기만을 조절하여 전력 증폭기의 혼변조 신호를 제거하는 것을 보여줌으로써 혼변조 신호 제거의 편리함을 보여주었으며, 5차 혼변조 이상의 고차 혼변조 성분을 억제 하기위해서 고차 고주파 하모닉 신호를 만들어 내면 고차 혼변조 신호를 억제할 수 있는 선형화기에 이용 할 수 있을 것이다.

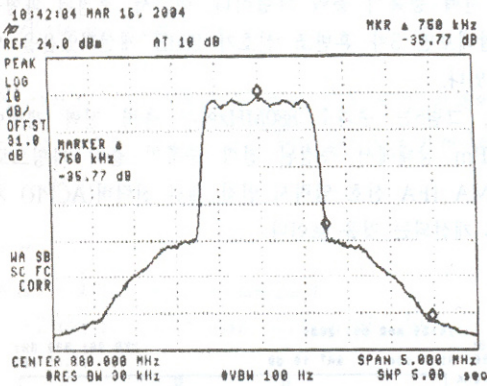
참고 문헌

- [1] C. S. Aitchison, "The current status of RF and microwave amplifier intermodulation performance," in *IEEE Radio Freq. Integrated Circuits Symp.*, Boston, MA, June 2000, pp.113-116.
- [2] M. R. Mozzam and C. S. Aitchison, "A low third order intermodulation amplifier with harmonic feedback circuitry," in *IEEE MTT-S Symp. Dig.*, June 1996, pp.827-830.
- [3] D. Jing, W. S. Chan, S. M. Li, and C. W. Li, "New linearization method using interstage second harmonic enhancement," *IEEE Microwave Guided Wave Lett.* vol.9, pp.402-404, Nov. 1998.
- [4] Y. Yang and B. Kim, "A new linear amplifier using low-frequency second-order intermodulation component feedforwarding," *IEEE Microwave Guided Wave Lett.* vol.9, pp.419-421, Oct.1999.
- [5] 정용채, 장익수, "벡터 감쇄기의 설계", 전자공학회 논문집 제35권, 11월, 1998.
- [6] Tri T. Ha, *Solid-State Microwave Amplifier Design*, Wiley-Interscience, 1981, pp.202 -209.

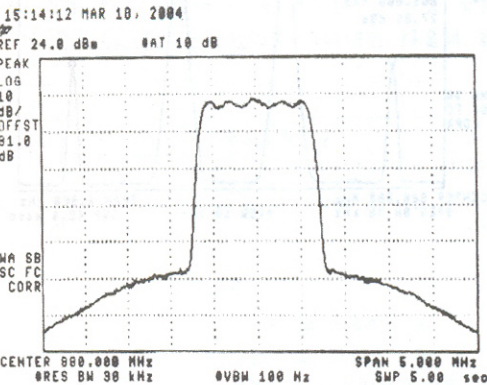


(b)

그림4. 2-톤 입력시 (a) 선형화 전 (b) 선형화 후 전력 증폭기 출력 특성 (Po=28dBm/tone, Δf=1MHz)



(a)



(b)

그림5. CDMA 1FA 신호 입력시 (a) 선형화 전 (b) 선형화 후 전력 증폭기 출력 특성 (@Po=29dBm)