

짝수 고조파 성분을 이용한 아날로그 전치 왜곡 선형화기 설계

A Design of Analog Predistortion Linearizer Using Even Harmonic Signals

황문수 · 전기경 · 김일규 · 조숙희 · 김 영 · 김병철

Moon-Soo Hwang · Ki-Kyung Jeon · Ell-Kou Kim · Suk-Hui Cho · Young Kim · Byung-Chul Kim

요 약

본 논문에서는 고조파 발생기의 짝수 고조파 성분을 이용하여 전력 증폭기의 3차와 5차 혼변조 왜곡 신호를 개별적으로 개선할 수 있는 전치 왜곡 선형화기를 제안하였다. 제안된 선형화기의 고조파 발생기는 2차와 4차 고조파 성분을 추출할 수 있는 소 신호 증폭기로 구성되어 있으며, 또 2차와 4차 고조파 성분들은 벡터 모듈레이터에서 주 신호와 진폭 변조되어 3차와 5차 전치 왜곡 혼변조 신호를 개별적으로 발생시킬 수 있게 된다. 이렇게 전치 왜곡된 신호는 2차와 4차 고조파 신호의 크기만 변화시킴으로써 각각의 혼변조 신호의 크기와 위상을 조절할 수 있으며, 이것을 이용하여 전력 증폭기의 3차와 5차 혼변조 왜곡 신호를 각각 억제하는 선형화기를 구현하였다. 이러한 전치 왜곡 선형화기의 타당성을 입증하기 위해 2-톤 신호를 전력 증폭기에 인가하여, 3차와 5차 혼변조 왜곡 신호를 각각 25 dB, 18 dB 개선을 시켰으며, IS-95 CDMA 신호를 인가하였을 경우 인접 채널 전력 비가 7 dB 이상 개선되는 것을 확인하였다.

Abstract

This paper proposes a new predistortion linearizer with controlling intermodulation distortion(IMD) signals. This linearizer achieves independent control of third- and fifth-order intermodulation distortion products using amplitude modulation with even harmonic signals. A vector modulator that modulate fundamental signal with both second- and fourth-order harmonic components generated by harmonic generator circuits, generates the inverse characteristics third- and fifth-order intermodulation signals of power amplifier and controls amplitude and phase of them with each other modulation factors. As a results, this linearizer is suppressed IMD signals of power amplifier effectively. The test results show that the third IMD is cancelled more than 25 dB and the fifth order IMD is cancelled about 18 dB for CW two-tone signals. Also, it's improved the adjacent channel power ratio(ACPR) more than 7 dB for IS-95 CDMA signals.

Key words : Predistortion, Even Harmonic, Amplitude Modulator, Intermodulation Distortion

I. 서 론

최근 이동 통신 서비스는 CDMA 2000 또는 WCDMA와 같이 많은 데이터량을 처리할 수 있는 시스템의 개발로 광대역 채널 대역폭과 디지털화된 변조 방식을 증폭할 수 있는 무선 전력 증폭기를 요구하게 되었다. 비선형 증폭 시스템은 인접한 채널

사이의 간섭을 일으키고, 주어진 대역 내에서 사용할 수 있는 주파수 자원을 감소시키게 된다. 결국 증폭기 시스템의 선형성은 시스템 설계의 중요한 요소가 된다. 또한, WCDMA의 높은 반송파 주파수는 기지국의 커버 지역을 줄임으로 인해서 더 많은 기지국 시스템과 중계기가 요구 된다. 이러한 시스템 운용의 전력 효율은 증폭기 시스템 구현 시 선형성과

「본 연구는 금오공과대학교 해외장기연수 프로그램에 의하여 연구된 논문임.」

금오공과대학교 전자공학부(School of Electronics Engineering, Kumoh National Institute of Technology)

· 논문 번호 : 20051202-139

· 수정완료일자 : 2006년 1월 11일

함께 고려되어야 할 필수적인 사항이다.

현재 전력 증폭기의 선형성을 증가하기 위해서 여러 가지 선형화 방법들이 연구되고 있는데, 그것 중에서 개선 효과나 동작 대역폭 등의 관점에서 볼 때 실제로 적용 가능한 선형화 방법은 피드포워드, 피드백 그리고 전치 왜곡 선형화 방법 등이 있다^{[1],[2]}. 특히 혼변조 성분을 예측하여 접근하는 전치 왜곡 선형화 방법은 원 신호와 예측된 혼변조 성분의 역 신호를 결합하여 선형화시키는 방법이다. 이러한 방법은 여타의 다른 방법보다 높은 효율과 간단한 구조를 갖고 있다. 기존의 많은 방법은 2차 고조파 신호를 2-톤 입력 신호와 함께 입력시켜 전력 증폭기를 선형화 시켰는데, 이때 3차 혼변조 신호는 20 dB, 또, CDMA 1.23 MHz OQPSK 신호를 입력했을 때에는 6 dB 정도 개선시켰다^{[3]~[7]}.

본 논문에서는 3차 이상의 고차 항 혼변조 성분까지도 선형화 시킬 수 있도록 하기 위해서, 고조파 발생기는 트랜지스터의 바이어스를 조절하여 만들었으며, 여기서 발생된 신호는 2차와 4차 고조파 신호로 분리하여, 이 신호 성분들이 벡터 모듈레이터에서 동 위상(in-phase)과 직각 위상(quadrature-phase)으로 나누어진 주 신호와 진폭 변조시켜 3차와 5차의 전치 왜곡 혼변조 신호를 개별적으로 발생시켰다. 이렇게 만들어진 신호는 2차와 4차 고조파 혼변조 신호의 크기만을 각각 변화시키면 진폭 변조된 파형의 크기와 위상이 동시에 조절되어, 전력 증폭기에서 생성되는 3차와 5차 혼변조 신호의 역의 특성을 갖는 전치 왜곡 신호를 만들어내는 것이다. 이러한 고조파 신호를 이용한 선형화기는 피드백을 이용한 방법보다 넓은 대역폭을 갖고 있으며, 단지 고조파 신호의 크기만을 조절하여 전치 왜곡된 3차와 5차 혼변조 신호의 크기와 위상을 개별적이면서 동시에 조절할 수 있는 장점을 갖고 있다.

II. 설계 이론

2-1 동작회로의 이론적 해석

일반적으로 증폭기의 비선형성은 식 (1)과 같이 파워 시리즈의 형태로 나타낼 수 있다^[8].

$$V_o = k_1 v_i + k_2 v_i^2 + k_3 v_i^3 + k_4 v_i^4 + \dots \quad (1)$$

여기서 v_i 는 입력 신호, 그리고 V_o 는 출력 신호를 나타낸다.

또, 입력 신호는 진폭이 같은 2-톤 신호로 나타낼 수 있으면 식 (2)처럼 표현된다.

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

다른 전치 왜곡 선형화기와는 다르게, 본 논문에서 필요로 하는 고조파 신호는 다음과 같은 비선형 전달함수에 의해서 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} G_{\text{even}} &= k_2 v_i^2 + k_4 v_i^4 \\ &= a \cos(2\omega_1 t) + \beta \cos(2\omega_2 t) \\ &\quad + \gamma \cos(\omega_1 + \omega_2)t \\ &\quad + \delta \cos(3\omega_1 - \omega_2)t + \epsilon \cos(3\omega_2 - \omega_1)t \\ &\quad + \text{other terms} \end{aligned} \quad (3)$$

여기서 $a, \beta, \gamma, \delta, \epsilon$ 는 2차와 4차의 고조파 신호의 크기를 나타낸다.

여기서 얻어진 고조파 신호는 고조파 발생기에서 트랜지스터의 바이어스 전압을 제어함으로써 얻을 수 있다.

전력 증폭기를 선형화하기 위한 전치 왜곡된 3차와 5차 혼변조 신호는 벡터 모듈레이터에서 동 위상과 직각 위상으로 나누어진 주 신호 성분과 고조파 성분을 진폭 변조시킴으로써 만들어진다. 이러한 방법으로 만들어진 진폭 변조된 동 위상 성분(V_I)과 직각 위상 성분(V_Q)의 전압값은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

동 위상 성분은 식 (4)와 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} V_I &= A[1 + a \cos(2\omega_1 t) + \beta \cos(2\omega_2 t) \\ &\quad + \gamma \cos(\omega_1 + \omega_2)t + \delta \cos(3\omega_1 - \omega_2)t \\ &\quad + \epsilon \cos(3\omega_2 - \omega_1)t] \cdot (\cos \omega_1 t + \cos \omega_2 t) \\ &= \left(A + \frac{Aa}{2} + \frac{A\gamma}{2}\right) \cos(\omega_1 t) \\ &\quad + \left(A + \frac{A\beta}{2} + \frac{A\epsilon}{2}\right) \cos(\omega_2 t) \\ &\quad + \left(\frac{Aa}{2} + \frac{A\delta}{2}\right) \cos(2\omega_1 - \omega_2)t \\ &\quad + \left(\frac{A\beta}{2} + \frac{A\epsilon}{2}\right) \cos(2\omega_2 - \omega_1)t \\ &\quad + \frac{A\delta}{2} \cos(3\omega_1 - \omega_2)t \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &+ \frac{A\epsilon}{2} \cos(3\omega_2 - \omega_1)t \\
 &+ \left(\frac{A\alpha}{2} + \frac{A\gamma}{2}\right) \cos(2\omega_1 + \omega_2)t \\
 &+ \left(\frac{A\beta}{2} + \frac{A\gamma}{2}\right) \cos(2\omega_2 + \omega_1)t \\
 &+ \left(\frac{A\alpha}{2} + \frac{A\delta}{2}\right) \cos(3\omega_1)t \\
 &+ \left(\frac{A\beta}{2} + \frac{A\epsilon}{2}\right) \cos(3\omega_2)t \\
 &+ \frac{A\delta}{2} \cos(4\omega_1 - \omega_2)t + \frac{A\epsilon}{2} \cos(4\omega_2 - \omega_1)t \quad (4)
 \end{aligned}$$

직각 위상 성분은 식 (5)와 같이 표현된다.

$$\begin{aligned}
 V_I &= A[1 + a\cos(2\omega_1 t) + \beta\cos(2\omega_2 t) \\
 &\quad + \gamma\cos(\omega_1 + \omega_2)t + \delta\cos(3\omega_1 - \omega_2)t \\
 &\quad + \epsilon\cos(3\omega_2 - \omega_1)t] \cdot (\sin\omega_1 t + \sin\omega_2 t) \\
 &= \left(A - \frac{A\alpha}{2} - \frac{A\gamma}{2}\right) \sin(\omega_1 t) \\
 &\quad + \left(A - \frac{A\beta}{2} - \frac{A\gamma}{2}\right) \sin(\omega_2 t) \\
 &\quad - \left(\frac{A\alpha}{2} + \frac{A\delta}{2}\right) \sin(2\omega_1 - \omega_2)t \\
 &\quad - \left(\frac{A\beta}{2} + \frac{A\epsilon}{2}\right) \sin(2\omega_2 - \omega_1)t \\
 &\quad - \frac{A\delta}{2} \sin(3\omega_1 - \omega_2)t \\
 &\quad - \frac{A\epsilon}{2} \sin(3\omega_2 - \omega_1)t \\
 &\quad + \left(\frac{A\alpha}{2} + \frac{A\gamma}{2}\right) \sin(2\omega_1 + \omega_2)t \\
 &\quad + \left(\frac{A\beta}{2} + \frac{A\gamma}{2}\right) \sin(2\omega_2 + \omega_1)t \\
 &\quad + \left(\frac{A\alpha}{2} + \frac{A\delta}{2}\right) \sin(3\omega_1)t \\
 &\quad + \left(\frac{A\beta}{2} + \frac{A\epsilon}{2}\right) \sin(3\omega_2)t \\
 &\quad + \frac{A\delta}{2} \sin(4\omega_1 - \omega_2)t \\
 &\quad + \frac{A\epsilon}{2} \sin(4\omega_2 - \omega_1)t \quad (5)
 \end{aligned}$$

식 (4), (5)를 살펴보면 2차 고조파 신호와 주 신호가 진폭 변조되면 3차 혼변조 신호가 또, 4차 혼변조 신호와 주 신호가 진폭 변조되면 5차 혼변조 신호가 만들어지는 것을 알 수 있다. 결국 2차와 4차 혼변조 신호의 크기를 적당히 조절하면 전력 증폭기에서 발생하는 혼변조 신호와 역의 특성을 갖는 전치 왜곡 신호를 만들 수 있음을 알 수 있다.

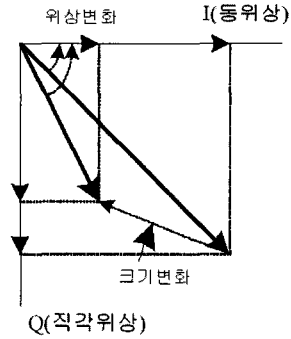


그림 1. 변조된 신호의 진폭과 위상 변화
Fig. 1. Amplitude and phase variation of modulated signals.

그림 1은 진폭 변조된 신호의 진폭과 위상 변화를 나타냈으며, 동 위상과 직각 위상 신호의 진폭을 변화시키면 크기와 위상이 함께 변하는 것을 알 수 있다. 이것을 이용하여 전력 증폭기의 혼변조 신호를 선형화 할 수 있다.

2-2 선형화기의 동작원리

본 논문에서는 고조파 발생기에서 만들어지는 고조파 성분과 주 신호의 진폭 변조를 통하여 전력 증폭기에서 발생하는 3차와 5차 혼변조 왜곡 신호와 역이 되는 전치 왜곡 성분들을 개별적으로 만들어, 전력 증폭기의 전단에 설치하여 3차와 5차 혼변조 성분을 제어할 수 있는 전치 왜곡 선형화 방법을 제안하였다. 그림 2는 제안한 선형화기의 블록 다이어그램이다.

제안한 선형화기는 10 dB 방향성 결합기, 자동 레벨 조절기(Automatic Level Controller: ALC), 전력 분

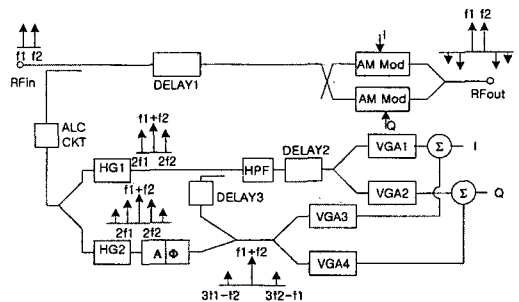


그림 2. 제안한 선형화기의 블록 다이어그램
Fig. 2. A block diagram of the proposed linearizer.

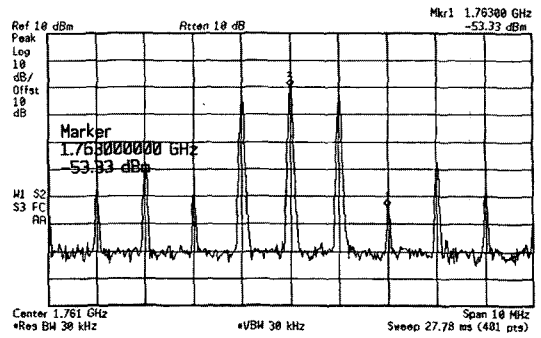
배기, 고조파 발생기(harmonic generator), 고역 통과 여파기(High Pass Filter: HPF), 가변 감쇠기, 가변 위상 변환기, 가변 이득 증폭기(Variable Gain Amplifier : VGA), 3 dB 하이브리드 결합기, 지연선로, 그리고 진폭 변조기(AM modulator) 등으로 구성되어 있다.

선형화기의 동작 원리를 살펴보면, 입력된 반송파 2-톤 신호는 주 경로와 10 dB 방향성 결합기를 거치는 보조 경로로 나누어지게 된다. 보조 경로의 신호는 자동 레벨 조절기를 거쳐서 전력 분배기로 나누어지게 된다.

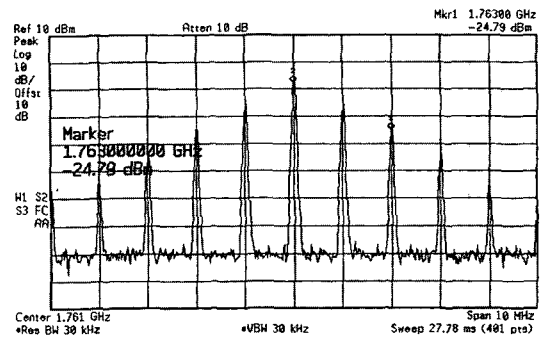
자동 레벨 조절기는 가입자의 사용 정도에 따라 전력 레벨이 변화되고, 고조파 발생기의 출력 신호들은 입력 신호 레벨에 따라 출력 특성과 정합 조건이 달라지므로, 고조파 발생기의 입력 변화에 무관하게 일정한 고조파 신호가 발생되도록 하기 위한 것이다.

전력 분배기를 통해 나누어진 두 신호는 고조파 발생기(HG1, HG2)로 입력되며, 고조파 발생기는 왓킨 존슨 사 AH1으로 구성되어 있으며, 이것의 바이어스를 적당하게 조절함으로써 그림 3(a) 및 3(b)와 같은 고조파 성분을 발생시킨다. 그림 3(a)는 입력에 880 MHz, 881 MHz를 입력했을 때, 2차 고조파 성분 1,760 MHz, 1,761 MHz, 1,762 MHz 성분을 추출했을 때의 파형이다. 그림 3(b)는 2-톤 신호 880 MHz, 881 MHz를 입력했을 때 그림 3(a)의 주파수 성분을 포함한 고차항의 혼변조 성분을 추출했을 때의 파형이다.

이렇게 만들어진 그림 3(a)의 2차 고조파 신호는 전력 분배기를 통해서 고역 통과 여파기(HPF)와 지연 선로(DELAY2)를 거쳐 각각 가변 이득 증폭기(VGA1, VGA2)로 입력되고, 또한 일부 신호는 지연 선로(DELAY3)를 통과한 후, 고조파 발생기(HG2)에서 출력된 고차 항 고조파 신호는 가변 위상 변환기 그리고 가변 이득 조절기를 통하여 크기와 위상을 조절하여 지연선로(DELAY3) 신호와 결합하면 그림 4와 같이 1,760 MHz와 1,762 MHz 성분은 억제시키고 나머지 고조파 성분을 추출한 4차 고조파 신호를 만들게 된다. 여기서 사용된 고역 통과 여파기(HPF)는 주 신호는 억제하고 고조파 신호만 통과시키는 역할을 하고, 가변 감쇠기(A)와 가변 위상 변환기(ϕ)는 두 신호의 신호 레벨과 위상을 동일하게 맞추어 주기 위하여 사용되었다.



(a) 2차 고조파
(a) Second harmonics



(b) 2차와 고차 고조파
(b) Second and higher order harmonics

그림 3. 고조파 발생기에서 만들어진 고조파 신호
Fig. 3. Output characteristics of harmonic generator.

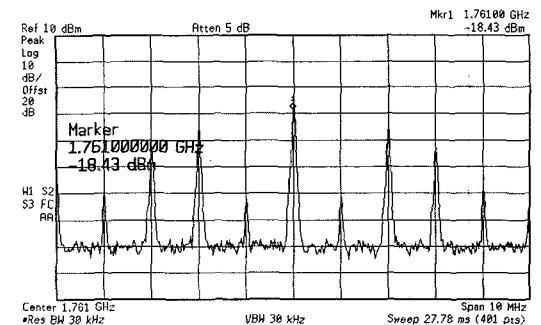


그림 4. 추출된 4차 고조파 신호
Fig. 4. Extraction of fourth order harmonic signals.

그림 4와 같이 $2\omega_1, 2\omega_2$ 성분이 억제된 4차 고조파 신호는 다시 전력 분배기를 통해 각각 가변 이득 증폭기(VGA3, VGA4)로 입력된다. 2개의 전력 결합기를 사용하여 가변 이득 증폭기로 입력된 4개의 신호들을 교차로 결합하여서 하나는 2차와 4차 혼변조

신호의 동 위상 성분(VGA1+VGA3)을 또 다른 하나는 직각 위상 성분(VGA2+VGA4)으로 만들어진다. 이렇게 만들어진 동 위상과 직각 위상의 고조파 신호는 벡터 모듈레이터의 진폭 변조기에서 주 신호와 각각 변조되어서 동 위상 성분과 직각 위상 성분의 3차와 5차 혼변조 왜곡 신호를 만들게 된다. 결국 벡터 모듈레이터 출력에서 3차와 5차 전치 왜곡 신호가 만들어지게 된다. 이렇게 만들어진 3차와 5차 혼변조 왜곡 신호는 고조파 신호의 크기만을 가변 이득 조절기를 조절하여 전치 왜곡된 3차와 5차 혼변조 신호의 크기와 위상을 변화시킬 수 있다. 이렇게 벡터 모듈레이터를 통해 변조된 신호는 전력 증폭기에서 발생하는 3차와 5차 혼변조 신호를 효과적으로 제어할 수 있게 된다.

또한, 여기서 사용한 지연 선로는 동축 케이블을 사용하였으며, 주 경로의 지연 시간(DELAY1)과 보조 경로의 지연 시간(DELAY2, DELAY3)의 정합은 주 신호와 고조파 발생기에서 고조파 신호로 변환되어 가변 이득 조절기를 통해서 진폭 변조기로 입력될 때까지의 지연 시간을 맞추어야 하는데 먼저, 주 신호가 고조파 발생기까지의 시간과 변환된 고조파 신호가 진폭 변조될 때까지의 시간을 각각 측정하여 이 두 가지 시간을 더한 값을 주 경로의 지연 시간과 동일하게 맞춘다. 이때 주파수 변환이 일어나는 시간은 알 수 없으므로 인하여 실험적으로 미세 조정을 하여 지연 시간을 조정한다.

III. 실험 결과

본 논문에서 제안한 선형화기의 개선 정도를 알아보기 위해 전치 왜곡기와 구동 증폭기로서 와킨 존슨사의 AH1과 모토롤라사의 MHL9838로 구성된 전력 증폭기를 제작하였다. 이 전력 증폭기의 동작 주파수 대역은 869~894 MHz이고, 측정된 이득과 P_{1dB} 는 각각 45 dB와 39 dBm이다.

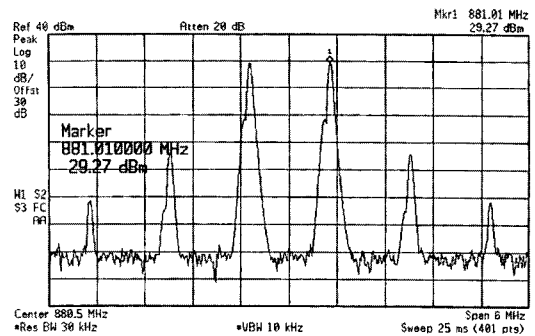
선형화기 제작 시 사용된 가변 감쇠기(A)와 가변 위상 변환기(ϕ)는 3dB 하이브리드 결합기의 두 암에 같은 소자를 연결하여 고립단자(isolation port)에서 출력을 얻으므로 입력단자로 반사되는 신호는 역위상 때문에 입력 반사계수가 작아지는 특성을 이용하였으며, 가변 감쇠기에는 HP사의 PIN 다이오드

HSMP-4810을 사용하였고, 가변 위상 변환기에는 소니사의 바랙터 다이오드 1T362를 사용하였다.

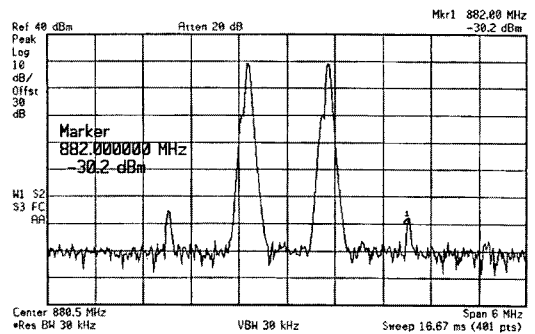
먼저 반송파 2-톤 신호를 인가하였을 경우, 그림 5는 중심 주파수가 880.5 MHz인 2-톤 신호이고, 주파수 간격이 1 MHz, 출력 전력 $P_o=29.3$ dBm/tone일 때, 3차와 5차 혼변조 왜곡 신호가 각각 25 dB, 18 dB 정도 개선된 것을 보여준다.

그림 6은 중심 주파수가 880 MHz인 IS-95 CDMA 1FA 신호를 인가하였을 경우 출력 전력이 $P_o=29.7$ dBm에서 중심 주파수에서 이격 지점 885 kHz의 인접 채널 비(Adjacent Channel Power Ratio: ACPR)가 7.2 dB 정도 개선되었음을 보여준다.

그림 7은 반송파 2-톤 신호의 출력 레벨을 변화시켰을 경우와 주파수 간격이 1 MHz, 5 MHz로 변화를 주었을 때의 3차와 5차 혼변조 신호의 개선 정도를



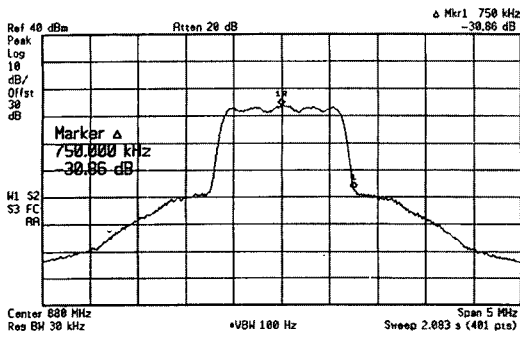
(a) 선형화기 사용 전
(a) Without linearizer



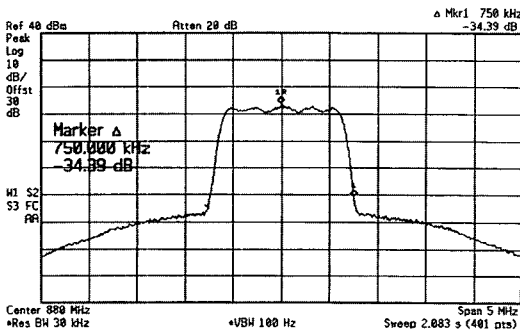
(b) 선형화기 사용 후
(b) With linearizer

그림 5. 2-톤 입력 시 증폭기 출력 특성 개선(주파수 간격 $\Delta f=1$ MHz, $P_o=29.3$ dBm/tone)

Fig. 5. Output characteristics of HPA in case of 2-tone signal.



(a) 개선 전
(a) Without linearizer



(b) 개선 후
(b) With linearizer

그림 6. IS-95 CDMA 1FA 신호를 입력 시 증폭기 출력 특성($P_o=29.7$ dBm)

Fig. 6. Output characteristics of HPA in case of CDMA 1FA signal($P_o=29.7$ dBm).

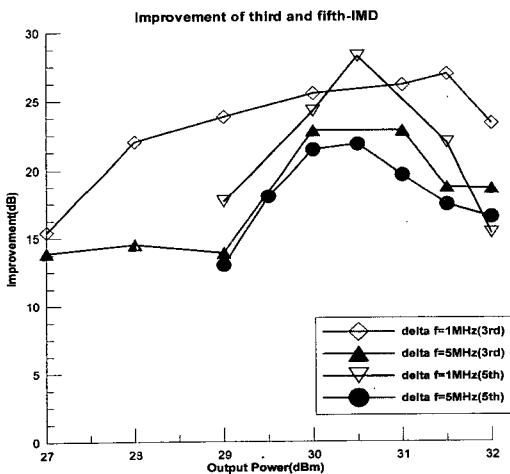


그림 7. 반송파 2-톤 신호에서 출력 변화에 따른 3차와 5차 혼변조 신호의 개선량

Fig. 7. Improvement of IMD3 and IMD5 for power variation in case of two-tone signals.

나타내주는 그래프이다.

IV. 결 론

본 논문에서 제안한 전치 왜곡 선형화기는 고조파 발생기를 이용하여 2차와 4차 고조파 성분을 추출하고, 이 신호를 주 신호와 진폭 변조시킴으로써 3차와 5차 전치 왜곡 혼변조 신호를 개별적으로 발생시켰다. 이렇게 발생한 전치 왜곡 신호의 제어는 벡터 모듈레이터에서 2차와 4차 고조파 신호의 크기만 변화시킴으로써 각각의 혼변조 신호의 크기와 위상을 변화시키게 하였고, 전력 증폭기에서 발생하는 3차와 5차 혼변조 신호를 개별적으로 제어할 수 있었다. 제안한 선형화기는 반송파 2-톤 신호($\Delta f=1$ MHz, $P_o=29.3$ dBm) 입력시, 3차와 5차 혼변조 신호가 각각 25 dB, 18 dB 개선된 것을 확인할 수가 있었고, CDMA(IS-95) 1FA 신호 입력시 885 kHz 이격지점에서의 ACPR이 7.2 dB 정도 개선된 것을 확인할 수 있었다. 이와 같은 선형화기는 3차와 5차 혼변조 신호를 독립적으로 제어함으로써 효율적으로 전력 증폭기를 선형화 시키는 장점과 기존의 방법과 동등 이상의 전기적 특성을 얻었다.

참 고 문 헌

- [1] S. C. Cripps, *RF Power Amplifiers for Wireless Communications*, Norwood, MA, Artech House, 1999.
- [2] P. B. Kenington, *High-Linearity RF Amplifier Design*, Norwood, MA, Artech House, 2000.
- [3] T. Nesimouglu, D. Budimir, M. R. Moazzam, and C. S. Aitchison, "Second harmonic injecting technique for low intermodulation RF-microwave amplifiers", *High Frequency Postgraduate Student Colloquium*, pp. 143-148, Sep. 1997.
- [4] C. S. Aitchison, M. Mbabele, M. R. Moazzam, D. Budimir, and F. Ali, "Improvement of third-order intermodulation product of RF and microwave amplifiers by injection", *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 49, no. 6, pp. 1148-1154, Jun. 2001.
- [5] C. S. Aitchison, "The current status of RF and microwave amplifier intermodulation performance",

MA, pp. 113-116, Jun. 2000.

- [6] Y. Kim, I. -S. Chang, and Y.- C Jeong, "An analog predistortion linearizer design", *Microwave Journal*, vol. 48, no. 2, pp. 118-126, Feb. 2005.
- [7] S.-Y. Kim, M. -A. Jang, K. -K. Jeon, Y. Kim, and Y. -C. Jeong, "An analog linearizer using second harmonic

IEEE Radio Freq. Integrated Circuits Symp., Boston, signals feedforwarding", *European Microwave Conference 2005*, Sep. 2005.

- [8] Tri T. Ha, *Solid-State Microwave Amplifier Design*, John Wiley, 1981.

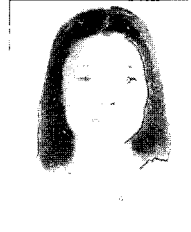
황 문 수



1986년 2월: 금오공과대학교 전자공학
학과 (공학사)
1995년 8월: 경북대학교 통신전공
(공학석사)
1985년 12월~현재: 삼성전자(주) 정
보통신사업부 부장

1999년 2월~현재: 금오공과대학교
전자공학과 공학박사 수료
[주 관심분야] 이동통신 시스템 및 RF 회로해석, 전력증폭
기 및 선형화기 설계

조 숙 희



1999년 2월: 금오공과대학교 전자
통신공학과 (공학사)
2001년 2월: 금오공과대학교 전자
통신공학과 (공학석사)
2000년 9월~2003년 2월: (주)인마텍
2001년 3월~현재: 금오공과대학교
전자통신공학과 공학박사 수료

[주 관심분야] Microwave & RF 회로설계, 전력증폭기 설
계 및 모델링

전 기 경



2005년 2월: 금오공과대학교 전자
공학부 전파통신공학전공 (공학
사)
2005년 2월~현재: 금오공과대학교
전파통신공학과

[주 관심분야] RF 및 Microwave 회
로 설계, 전력증폭기 및 선형화
기 설계

김 영



1988년 2월: 서강대학교 전자공학
과 (공학석사)
2002년 8월: 서강대학교 전자공학
과 (공학박사)
1988년 1월~1993년 5월: 이즈텔시
스템즈(주) 연구소 선임연구원
1993년 6월~1998년 2월: 삼성전자
(주) 정보통신사업본부 선임연구원

1998년 3월~2003년 2월: 두원공과대학 정보통신과 조교
수

2003년 3월~현재: 금오공과대학교 전자공학부 조교수
[주 관심분야] RF 및 Microwave 회로해석 및 설계, 전력
증폭기 및 선형화기 설계

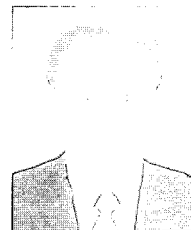
김 일 규



2006년 2월: 금오공과대학교 전자
공학부 전자공학전공 (공학사)
2006년 2월~현재: 금오공과대학
교 전파통신공학과

[주 관심분야] RF 및 Microwave
회로 설계, 전력 증폭기 및 선형
화기 설계

김 병 철



1980년 2월: 서강대학교 전자공학
과 (공학사)
1982년 2월: 서강대학교 전자공학
과 (공학석사)
1991년 8월: 서강대학교 전자공학
과 (공학박사)
1982년~현재: 금오공과대학교 전

자공학부 교수

[주 관심분야] Microwave & RF 회로설계, 전력증폭기 및
선형화기 설계, Microwave Filter 설계