

Carrier Complex Power Series 해석을 통한 대전력 증폭기용 전치 왜곡기 설계

윤상영, 오인주*, 정용채*, 김철동

세원텔레텍, * 전북대학교 정보통신공학과 및 정보통신연구소

전화 : (031) 422-0031 / 팩스 : (031) 425-9931

A Design of High Power Amplifier Predistortor using Carrier Complex Power Series Analysis

Sang Young Yun, * In Ju Oh, * Yong Chae Jeong, Chul Dong Kim

Sewon Teletech

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

E-mail : a987149@hanmail.net

Abstract

In this paper, a new carrier complex power series which represents nonlinear transfer function of high power amplifier is derived. Using this transfer function, the nonlinear transfer function of predistortive circuit for linearizing the distortion effect of a HPA(High Power Amplifier) is derived and fabricated. A measured gain and P_{1dB} of the fabricated HPA in IMT-2000 basestation transmitting band are 34.06dB and 35.4dBm. The predistortive circuit using inverse carrier complex power series is fabricated and operated with HPA. The predistortive HPA improves C/I (Carrier to Intermodulation) ratio of HPA by 17.01dB(@ $P_{out} = 25.43dBm/$ tone) with 2-tone at 2.1375GHz and 2.1425GHz.

1. 서론

이동 통신 기지국이나 위성 통신 기지국의 송신단에서는 안테나로 신호를 보낼 때 대전력 증폭기를 사용한다. 대전력 증폭기는 비선형 특성을 가지고 있어서 다 채널 신호를 대전력 증폭기에 인가하면 출력에서는 혼

위상에 대한 비선형 전달 특성을 동시에 만족하는 Carrier Complex Power Series를 제시하고 이것을 이용한 Inverse Carrier Complex Power Series를 구해서 선형화기에 응용하는 방법과 측정 결과를 제시하였다.

II. 본론

비선형 특성을 갖는 2단자 망이 기억성이 없다면 출력 특성은 입력에 대해서 동시성을 갖는다고 가정할 수가 있고 이것은 입력 전압 $v_i(t)$ 와 출력 전압 $v_o(t)$ 의 관계식으로 다음과 같은 식(1)로 나타낼 수 있다.^[1]

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

where k_i : 실수

식(1)은 비선형 특성 중에 AM-to-AM 즉 이득에 대한 비선형 특성만을 나타내는 파워시리즈이다. 실제 대전력 증폭기의 비선형 특성은 AM-to-AM과 AM-to-PM 특성을 동시에 나타내고 있다. 이러한 비선형 특성의 동시성을 갖는 파워시리즈를 유도한다면 대전력 증폭기에

변조 왜곡이 발생하게 된다. 이러한 혼변조 왜곡을 제거하기 위해서는 선형화기의 장착이 반드시 필요하게 되고 선형화 방식으로는 입력 전력 Back-off, Feedback, Predistortion, Feedforward 방식 등이 있다.

본 논문에서는 대전력 증폭기의 입출력 신호 레벨과

선형화에 용이할 것이다.

본 논문에서는 AM-to-AM과 AM-to-PM에 비선형 특성을 만족하는 새로운 형태의 파워시리즈를 Carrier Complex Power Series(CCPS)라고 명칭하겠다.^{[2][3]}

유도과정은 먼저 제작된 대전력 증폭기의 비선형 특

성을 측정하고 이 특성을 바탕으로 입력 신호 대 출력 신호의 비선형 관계를 유도한다. 신호레벨과 위상 정보를 가진 입력신호가 대전력 증폭기에 인가되면 비선형 전달 특성에 의한 출력 특성은 상대적으로 이득과 위상에 변화를 가지는 출력 특성이 나오게 된다. 입력 신호가 $v_i = A \cos(\omega_1 t + \theta)$ 이라면 식(2)와 같이 페이저(Phasor form)나 지수함수(Exponential form)로 표현할 수 있다.

$$v_i = A \cos(\omega_1 t + \theta)$$

$$\Rightarrow v_{is} = A e^{j\theta} = A \angle \theta \quad (2)$$

출력 신호도 ω_1 에 대해서 크기(A^*)와 위상(θ^*)에 대한 정보를 가지고 있으므로 식(3)와 같이 표현을 할 수가 있다.

$$v_o = A^* \cos(\omega_1 t + \theta^*)$$

$$\Rightarrow v_{os} = A^* e^{j\theta^*} = A^* \angle \theta^* \quad (3)$$

대전력 증폭기의 CCPS는 식(4)와 같다. 입력 대 출력 신호가 ω_1 에 대해서 페이저나 지수함수로 표현이 되므로 각각의 계수 값들도 페이저나 지수함수 형태이고 이때 입출력에 대해 그림 1과 같이 표현을 할 수가 있다.

$$v_{os} = f_1 v_{is} + f_2 v_{is}^2 + f_3 v_{is}^3 + \dots \quad (4)$$

where f_i : 복소수

비교적 선형영역을 나타내는 복합 선형 이득 f_1 은 식(2)와 식(3)의 관계식으로 식(5)을 유도할 수 있다.

$$f_1 = \frac{v_{os}}{v_{is}} = \frac{A^* \angle \theta^*}{A \angle \theta} \quad (5)$$

P_{1dB} 점에서의 입력 신호(v_{is-1dB})도 페이저나 지수함수로 표현을 할 수 있고 f_1 (Complex linear scale gain)을 구했으므로 이때 이상적인 복합 선형 출력 v_{os} 를 식(6)과 같이 구할 수가 있다.

$$v_{os} = f_1 \times v_{is-1dB} = f_1 \times A_{1dB} e^{j\theta_{1dB}} \quad (6)$$

실제로 얻어지는 복합 비선형 출력 신호 v_{os-1dB} 를

$A^* \angle \theta^*$ 로 표현한다면 ...

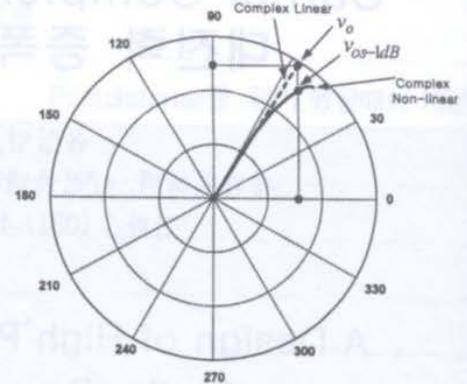


그림 1. Complex 입출력 비선형 특성

복합 선형 출력 v_{os} 보다 1 dB (linear scale:0.891 배) 이득이 떨어지는 1-dB 압축 레벨(1-dB gain compression)에 대한 정의는 식(8)로 표현을 할 수가 있다.

$$f_1 + \frac{3}{4} f_3 v_{is-1dB}^2 = Q \times f_1$$

$$f_3 = \frac{4(Q-1)f_1}{3 v_{is-1dB}^2} \quad (8)$$

이상에서 구한 f_1 과 f_3 를 이용하여 대전력 증폭기의 CCPS를 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$v_{os} = f_1 v_{is} + f_3 v_{is}^3 \quad (9)$$

이 대전력 증폭기를 선형화 하기 위한 전치왜곡기(Predistorter)가 대전력 증폭기의 입력 단에 부착되었다 가정하고 이 전치왜곡기의 비선형 특성을 나타내는 전달함수를 Inverse Carrier Complex Power Series(ICCPs)라 부르면 간략화 된 ICCPS는 식(10)과 같이 표현할 수 있고, 이 전치왜곡기의 출력 신호가 대전력 증폭기에 인가되면 그 출력은 식(11)과 같이 표현할 수 있다. 그림 2는 본 논문에서 제시하는 선형화 방식을 보이고 있다.

$$v_{is} = a_1 v_{in} + a_3 v_{in}^3 \quad (10)$$

$$v_o = f_1 a_1 v_{in} + (f_1 a_3 + f_3 a_1^3) v_{in}^3 + 3 f_3 a_1^2 a_3 v_{in}^5 + 3 f_3 a_1 a_3^2 v_{in}^7 + f_3 a_4^4 v_{in}^9 \quad (11)$$

여기서 전치왜곡기가 비교적 선형 영역인 낮은 파워레

A_{1dB} 또는 표현한다면, V_{os-1dB} 와 V_{os} 사이의 관계를 복합 상수(complex constant) Q 는 다음과 같다.

$$Q = \frac{V_{os-1dB}}{V_{os}} = \frac{A_{1dB}^* \angle \theta_{1dB}^*}{f_1 A_{1dB} \angle \theta_{1dB}} \quad (7)$$

벨에서는 이득이 0dB 이고 위상의 변화가 없다면, 역왜곡 신호 선형 이득인 계수 a_1 은 식(12)과 같이 구할 수 있다.

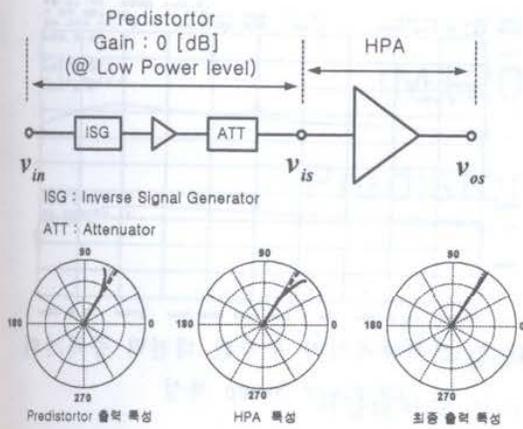


그림 2. 본 논문에서 제시하는 선형화 방식

$$f_1 a_1 = f_1 \Leftrightarrow a_1 = \frac{f_1}{f_1} = 1 \quad (12)$$

대전력 증폭기에 역왜곡 신호가 인가된 후 출력 특성이 선형성을 갖는다고 가정하면 역왜곡 신호의 3차 계수를 식(13)과 같이 구할 수가 있다.

$$f_1 a_3 + f_3 a_1^3 = 0 \Rightarrow \therefore a_3 = -\frac{f_3 a_1^3}{f_1} = -\frac{f_3}{f_1} \quad (13)$$

대전력 증폭기의 CCPS를 이용한 ICCPS는 식(14)와 같다. 여기서 3차 항 계수는 대전력 증폭기의 CCPS의 계수이므로 대전력 증폭기의 비선형 특성을 가지고 역왜곡 신호에 대한 정보를 얻을 수가 있다.

$$v_{is} = v_{in} - \left(\frac{f_3}{f_1}\right) v_{in}^3 \quad (14)$$

III. 시뮬레이션 및 제작 측정결과

본 논문에서 시료로 사용된 대전력 증폭기는 자체 제작하여 사용되었고 트랜지스터 Line-up은 Watkin-Jonson사의 AH1과 Fujitsu사의 FLL171ME와 FLL105MK 순으로 연결하였다. 그림 3은 측정된 대전력 증폭기의 이득 특성을 나타내고 동작 대역폭 60MHz에서 34.602 ± 0.1 dB를 얻었다. 그림 4는 Power sweep을 통한 대전력 증폭기의 비선형 특성이고, P_{1dB} 는 35.4dBm이다. 그림 5는 유도된 CCPS에 입력 신호로 2-tone을 인가한 후 fft를 취한 비선형 주파수 응답 특성을 나타내고 있다.

ISG에 사용된 다이오드는 HP사의 HSMS-2852, 3dB Hybrid Coupler는 Anaren사의 HV502를 이용하였다.

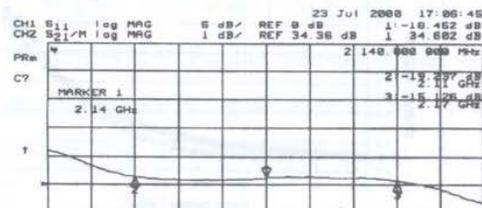
통한 개선 후 특성은 그림 7에 나타내었는데 그림 4와 비교했을 때 18dB의 전력 범위에서 1.33dB의 이득 압축이 0.74dB의 이득 압축으로 개선되고 위상 변화량은 11.85^0 에서 4^0 미만으로 개선 됨을 보이고 있다. 대표적인 2-tone 테스트 측정결과는 그림 8과 9에 나타내었는데 주파수 간격이 5MHz이고 출력 전력이 25.43dBm/tone 일 때 17dB의 개선효과를 보이고 있다. 그림 10은 출력 전력이 28.43 ~ 21.43dBm/tone 일 때 13.34 ~ 5 dB의 개선효과를 보이고 있다.

IV. 결론

본 논문에서는 대전력 증폭기의 비선형 특성을 크기와 위상에 대해 동시성을 갖는 새로운 형태의 복합 파워시리즈를 제시하고 제시한 파워시리즈를 이용해 전치왜곡기에서 구현되어야 할 역왜곡 복합 파워시리즈를 유도하였다. 또한 선형화기에 응용하는 방법과 측정 결과를 제시하였다. 파워시리즈에 더 높은 차수에 대한 식을 유도한다면 더욱 더 좋은 특성이 기대가 된다.

참고 문헌

- [1] Yong Chae Jeong, "A design of predistortion linearizer by individual order control of intermodulation distortion signals," *Dissertation*, Sogang-Univ., 1996.
- [2] Tri T. Ha, "Solid-State Microwave Amplifier Design," (John Wiley & Sons, Inc. 1981), pp.202-246.
- [3] Seng-Woon Chen, "Effects of Nonlinear Distortion on CDMA Communication Systems," *IEEE trans. Microwave and Techniques*. Vol. 44. No. 12, Dec 1996.
- [4] W. W. Lee, "Design of Predistortion Linearizer using diodes," *IEEE Trans. Microwave Theory and Tech.*, Vol. 23 No.1 Dec. 1992.



hybrid coupler는 Analizer의 JASUS를 사용하였다. 그림 6은 계산된 역왜곡 신호와 제작하여 측정된 역왜곡 신호 특성을 비교해서 나타내고 있다. 개선정도 확인은 CW Power Sweep을 통한 방법과 2-tone(2.1375GHz & 2.1425GHz)테스트 방법이 있는데, CW Power Sweep을

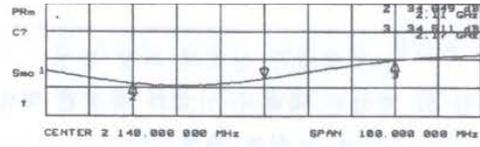


그림 3. 대전력 증폭기의 S_{11} 과 S_{21} 특성

ÀÀü/ÙÀ½

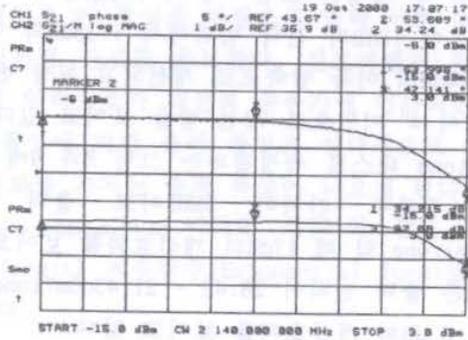


그림 4. 대전력 증폭기의 CW Power Sweep 특성

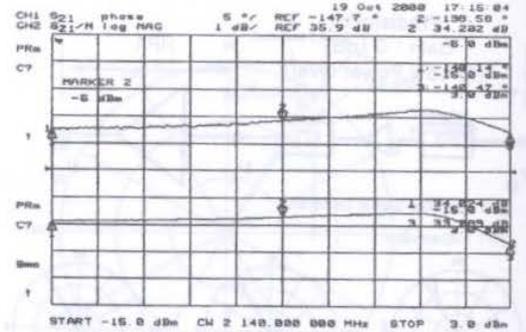


그림 7. 전치왜곡기가 부착된 대전력 증폭기의 CW Power Sweep 특성

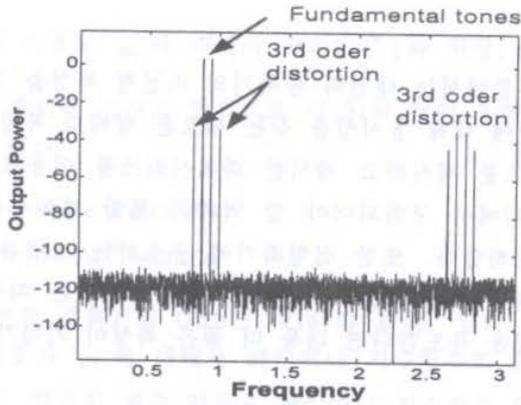


그림 5. 비선형 주파수 응답 특성

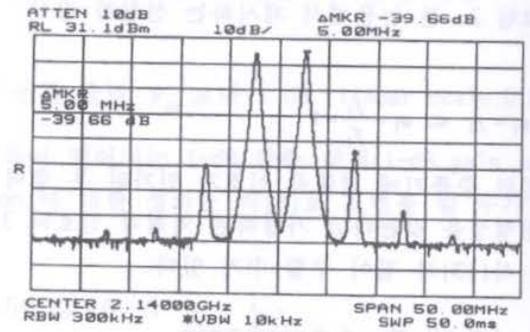
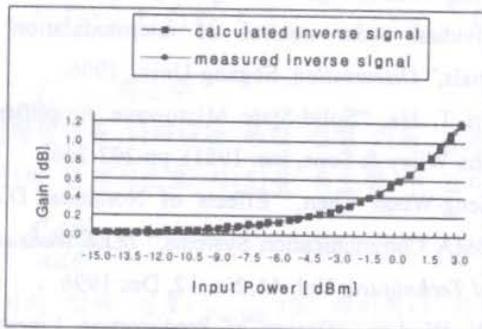


그림 8. 개선전 대전력 증폭기 특성 (@Pout = 25.43 dBm/tone)



(a) 역왜곡 신호의 이득 특성

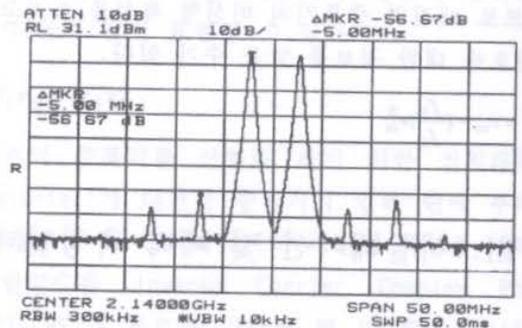
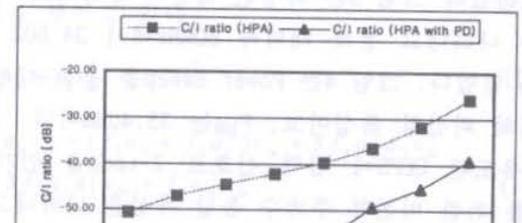
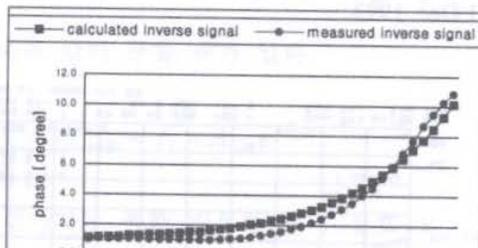
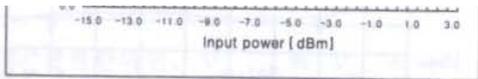


그림 9. 개선후 대전력 증폭기 특성 (@Pout = 25.43 dBm/tone)





(b) 역왜곡 신호의 위상 특성

그림 6. 계산된 역왜곡 신호와 측정된 역왜곡 신호 특성

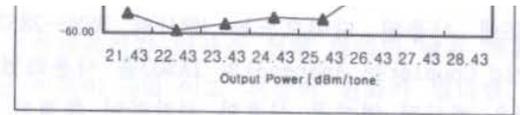


그림 10. 본 논문에서 제시하는 선형화기의 개선 효과