

# Envelope Detection 바이어스 제어를 이용한 AB급 증폭기 선형화

## Linearization of Class AB Amplifier Using Envelope Detection Bias Control

이 희 민 · 강 상 기\* · 홍 성 용

Hui-Min Yi · Sang-Gee Kang\* · Sung-Yong Hong

### 요 약

사전 왜곡형 선형 증폭기는 회로가 간단하고 제작 비용이 적은 장점이 있으나, 상호 변조 왜곡 hump 특성 때문에 낮은 출력 전력에서 상호 변조 왜곡 특성이 나빠지는 단점이 있다. 본 논문에서는 출력 전력에 따라 전력 증폭기의 바이어스를 제어하는 방법으로 이와 같은 단점을 개선하였다. AB급 바이어스를 사용한 16 W급 사전 왜곡형 전력 증폭기에 본 논문에서 제안한 방법을 적용한 결과, 넓은 출력 전력 범위에서 약 10 dB의 3차 상호 변조 왜곡 특성이 개선됨을 확인하였다.

### Abstract

In spite of the advantage of simple circuit, small size, and low price, predistorted power amplifier does not satisfy the IMD specification at low power range because of an IMD hump characteristic. To reduce the performance degradation by IMD hump, the method which is to control the operating point of amplifier according to its output power is presented. This method using envelope detection bias control is applied to the implemented class AB predistorted 16 W power amplifier. The measured result shows 10 dB improvement of 3<sup>rd</sup> IMD performance in wide dynamic range of output power.

Key words : Bias Control, Linearization, Envelope Detection

### I. 서 론

1990년대 초 이후 LDMOS(Laterally Diffused Metal Oxide-Semiconductor) 트랜지스터가 2 GHz 이하의 주파수 대역에서 고출력 증폭기로 널리 사용되었다. 그 이유는 LDMOS가 GaAs FET와 비교해서 가격이 싸고, 실리콘 BJT와 비교해서 이득도 높고 선형성도 좋은 특성을 갖기 때문이며, 이러한 이유로 LDMOS 트랜지스터는 빠른 속도로 BJT와 GaAs FET를 대체하게 되었다<sup>[1]</sup>.

LDMOS 트랜지스터를 사용한 고출력 증폭기는 전력 효율을 높이기 위해 주로 AB급 바이어스를 동작점으로 사용한다. A급, AB급 바이어스일 경우 입력 전력의 변화에 따른 상호 변조 왜곡 특성을 그림 1에 나타내었다.

A급 바이어스일 경우 입력 신호가 증가하면서 나타나는 3차 상호 변조 왜곡 성분은 기본 차수에 비해 3배로 선형적으로 증가한다. 그러나 AB급 바이어스일 경우 그림 1에 나타낸 바와 같이 어느 일정한 출력 범위에서 낮은 출력 전력을 갖는 경우보다

충남대학교 전파공학과(Dept. of Radio Science & Eng., Chungnam National Univ.)

\*군산대학교 정보통신공학부(Dept. of Information & Telecommunication, Kunsan National Univ.)

· 논문 번호 : 20051105-07S

· 수정완료일자 : 2006년 1월 31일

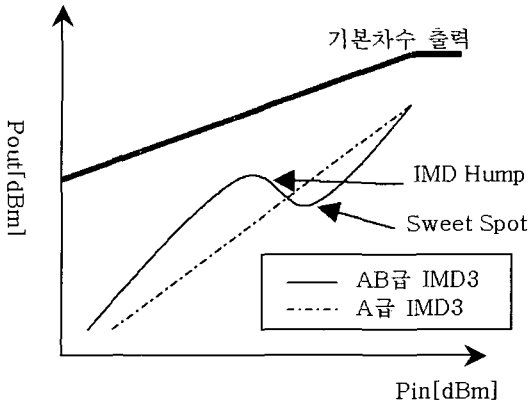


그림 1. 바이어스에 따른 상호 변조 왜곡 특성  
Fig. 1. IMD characteristics according to the operating point of an amplifier.

상대적으로 선형성이 좋은 특성을 갖는 영역과 출력 전력이 낮음에도 불구하고 좋지 않은 상호 변조 왜곡 특성을 갖는 출력 전력 범위가 나타난다. AB급 전력 증폭기에서 이와 같이 선형성이 좋은 영역을 sweet spot이라 하고, 반대로 상호 변조 왜곡 특성이 악화되는 영역을 상호 변조 왜곡 hump라고 한다<sup>[1]</sup>. 일정한 출력을 갖는 방송용 고출력 증폭기 등을 설계할 경우에는 원하는 출력 전력에서 sweet spot을 갖도록 설계하면 유리하다. 그러나 이동통신용 전력 증폭기와 같이 넓은 출력 전력 범위에서 선형성을 유지해야 하는 경우에는 상호 변조 왜곡 hump를 적절히 개선해야만 넓은 출력 전력 범위에서 원하는 선형성을 얻을 수 있다.

본 논문에서는 이동 통신 중계기용 16 W급 전력 증폭기의 상호 변조 왜곡 hump를 개선하기 위해서 전력 증폭기의 출력 전력에 따른 증폭기의 바이어스를 제어하는 방법에 대해 기술하고자 한다.

## II. 전치 왜곡 선형화기

중계기나 기지국 전력 증폭기의 출력 전력의 범위가 넓어지고, 전력 증폭기에 인가되는 FA의 수와 사용 주파수 대역이 증가함에 따라서 전력 증폭기의 전기적 특성에 대한 요구 규격은 상당히 엄격해졌다. 또한 디지털 변조 방식에 따라서 PAR(Peak-to-Average Ratio)이 다르고 PAR이 큰 경우 증폭기의 선형성을 유지하기 위해 back-off 방법만을 사용하면

증폭기의 전력 효율이 낮아지기 때문에 원하는 출력 전력을 얻기 위해서는 제작 비용이 증가하게 된다. 이러한 단점을 개선하기 위해서 다양한 선형화 방법이 사용되고 있다<sup>[1]</sup>. 그 중 전치 왜곡기는 회로가 간단하고, 크기가 작은 장점이 있기 때문에 널리 이용되고 있다.

본 논문에서 사용한 전치 왜곡기의 구성도를 그림 2에 나타내었다. 전치 왜곡기에서 생성된 상호 변조 왜곡 성분이 전력 증폭기에 인가되어 그 출력으로 나타날 때, 전치 왜곡기에 의한 상호 변조 왜곡 성분과 전력 증폭기 자체에서 발생하는 상호 변조 왜곡 성분이 크기가 같고 위상이 180도 차이가 날 경우 제거할 수 있다. 그림 2에서 상호 변조 왜곡 발생기는 원 신호와 상호 변조 왜곡 신호를 생성한다. 원 신호의 크기와 위상은 가변 감쇄기와 위상 변환기에 의해 조절된다.

본 논문에서는 먼저 동작 주파수 870~880 MHz, 평균출력 16 W급의 중계기용 전력 증폭기를 제작하였다. 전력 증폭기의 주 증폭부는 프리스케일러사의 MRF9060을 2개 병렬 사용하였고, 상호 변조 왜곡 발생기는 쇼트키 다이오드를 사용하였다. 그림 3에 전치 왜곡을 사용하기 전과 사용하였을 때 전력 증폭기의 상호 변조 왜곡 특성을 나타내었다. 전치 왜곡기를 사용하였을 경우 16 W 출력에서 3차 상호 변조 왜곡 성분이 -24.3 dBm으로 11.2 dB가 개선되었음을 알 수 있다. 그러나 3차 상호 변조 왜곡 성분의 경우 목표 출력인 16 W 주변에서는 전치 왜곡기를 사용하지 않을 때에 비해 개선된 특성을 보였지만 그보다 낮은 출력에서는 상호 변조 왜곡 특성이 악화되었다.

그 이유는 이상적인 전치 왜곡기인 경우, 입력 전

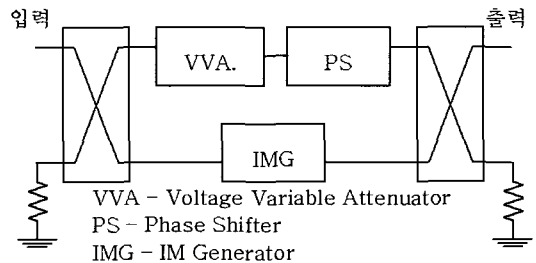


그림 2. 전치 왜곡기 구성도  
Fig. 2. Block diagram of the implemented predistorter.

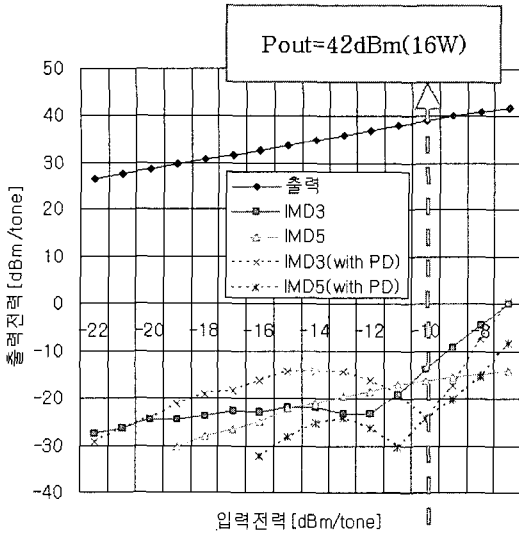


그림 3. 전력 증폭기의 상호 변조 왜곡 특성  
Fig. 3. IMD characteristics of the implemented power amplifier.

력에 따른 상호 변조 왜곡 발생기의 상호 변조 왜곡 성분이 고출력 증폭기의 상호 변조 왜곡 성분의 특성 변화와 같게 변화하는데 비해, 실제 전치 왜곡기는 입력 전력에 따라서 전력 증폭기의 상호 변조 왜곡 특성과 정확하게 일치하는 왜곡 성분 신호를 생성할 수 없기 때문이다. 본 논문의 경우에는 전치 왜곡기에 의한 5차 상호 변조 왜곡 성분의 특성이 전력 증폭기의 5차 상호 변조 왜곡 성분과 넓은 주파수 범위에서 유사하게 변화하기 때문에 3차 상호 변조 왜곡 성분보다 선형성 개선 정도가 더 좋게 측정되었다. 그런데 그림 3으로부터 상호 변조 왜곡 hump는 3차뿐만 아니라 5차 상호 변조 왜곡 성분에도 나타남을 알 수 있다.

본 논문에서는 이를 개선하기 위해 전력 증폭기의 출력 전력을 검출하고, 검출된 출력 전력에 따라 전력 증폭기의 바이어스를 조절하는 방법을 제안하였다.

### III. Envelope 검출을 이용한 바이어스 제어

AB급 증폭기는 출력 전력이 낮을 때는 약한 conduction 영역에서 동작하기 때문에 출력 특성은 square law 특성을 따른다. 따라서 A급 증폭기에 비해 낮은 입력 전력에서 특성이 저하된다. AB급 증폭

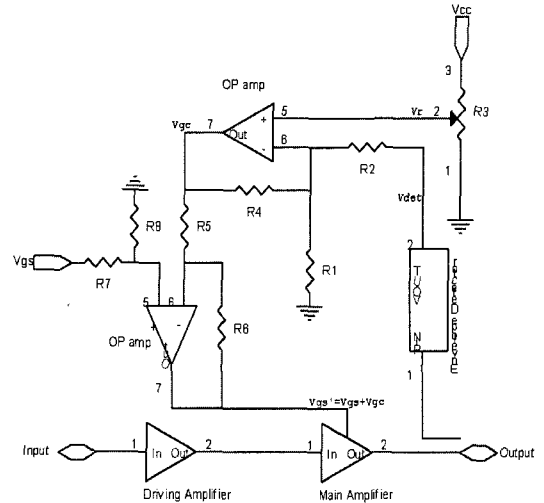


그림 4. 출력 전력 검출을 전압을 이용한 바이어스 제어회로  
Fig. 4. Bias control circuit using an output power detection.

기의 비선형 특성은 낮은 출력 전력에서 출력 전력이 서서히 높아짐에 따라 A급 증폭기의 비선형 특성과 유사한 특성을 보이다가 특정 출력 전력 범위에서 sweet spot을 나타낸다. 따라서 AB 전력 증폭기의 sweet spot 영역 이하에서 바이어스를 A급으로 조절한다면 전력 증폭기의 상호 변조 왜곡 hump를 개선할 수 있음을 그림 1로 부터 알 수 있다. 이와 같이 바이어스를 출력 전력에 따라서 변화시키기 위해서 그림 4와 같은 바이어스 제어 회로를 구성하였다.

전력 증폭기 측면에서 전력 검출은 필수적인 부가 기능이기 때문에 많은 추가 회로가 필요하지 않다. 그림 4에 나타난 바와 같이 논문에서는 주 증폭부 (main amplifier, MRF9060, 2단)의 바이어스만을 제어 대상으로 하였다. 그림 4에 나타나듯이 주 증폭부의 바이어스 전압  $V_{gs}$ 를 출력 전력에 따라 변화시키기 위해서 출력 전력을 검출하고, 검출된 전압을 주 증폭부의 바이어스 제어에 사용하기 위해서 차동 증폭기를 이용하였다.

출력단의 출력 전력이 낮으면  $V_{gs}$ '의 크기가  $V_{gs}$ 보다 커져서 A급 증폭기와 유사한 바이어스가 인가되고, 출력 전력이 높아질수록  $V_{gs}$ '의 크기가  $V_{gs}$ 와 같아지면서 AB급 바이어스를 유지하게 된다. 이러한 동작을 수식으로 나타내면 다음과 같다.

$$V_{gc} = V_b', V_{det} \leq V_a$$

$$V_r - k \cdot f(V_{min}, V_{max}), V_a < V_{dt} < V_b$$

$$0, V_{det} > V_b \tag{1}$$

$$V_{gs}' = V_{gs} + V_{gc} \tag{2}$$

여기서  $f(V_{min}, V_{max})$ 는 출력 전력에 따른 검출 전압을 나타낸다. 식 (1)에서 기율기  $k$ 와 옵셋 전압  $V_r$ 을 적절히 조정하여 증폭기의 선형화 특성이 상호 변조 왜곡 hump가 최소화 되도록 하였다.

출력 전력에 따라 게이트에 인가되는 바이어스 전압  $V_{gs}'$ 는 그림 5와 같이 변화한다. 출력 전력이 작아서 검출 전압이 작으면 바이어스 전압이 증가하여 최대  $V_{gs}+V_b'$ 까지 증가하고, 더 낮은 출력 전력에 대해서는 바이어스 전압이  $V_{gs}+V_b'$ 를 유지한다. 반대의 경우로 출력 전력이 증가하여 검출 전압이 높아지면 바이어스 전압은 줄어들어 원래의 바이어스 전압  $V_{gs}$ 로 수렴한다. 그림 6에 바이어스 조정 회로를 포함한 측정 결과를 나타내었다.

그림 6은 바이어스 제어 회로를 추가함으로써 낮은 출력 전력에서 상호 변조 왜곡 hump가 개선됨을 보여준다. 바이어스 제어 회로를 추가한 후 16 W 출력 전력에서 3차 상호 변조 왜곡 성분은 -22.3 dBm으로 2 dB 정도 나빠졌지만 전체 출력 범위에서 최대 10 dB이상 개선되었다.

그림 7은 바이어스 제어 회로를 동작시키기 전과 후의 AM-AM 특성을 비교 측정한 결과이다. 바이어스 제어 회로를 동작시킨 AM-AM 특성이 바이어스

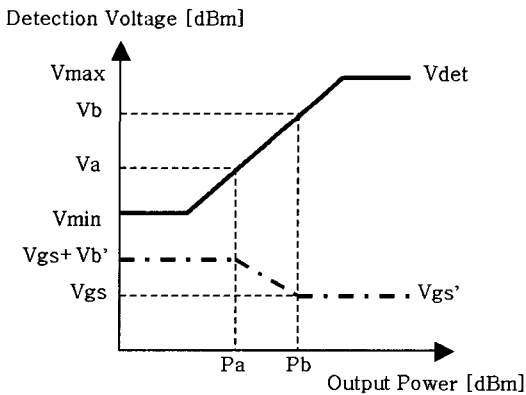


그림 5. 출력 전력에 따른 바이어스 전압 변화  
Fig. 5. Bias voltage change according to the output power.

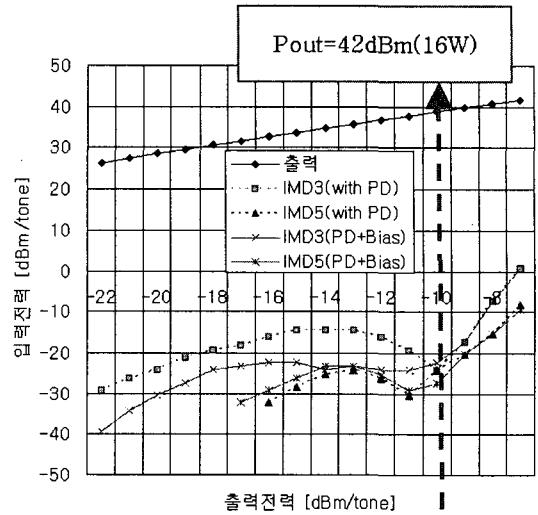


그림 6. 전력 증폭기의 상호 변조 왜곡 특성  
Fig. 6. IMD characteristics of the implemented power amplifier.

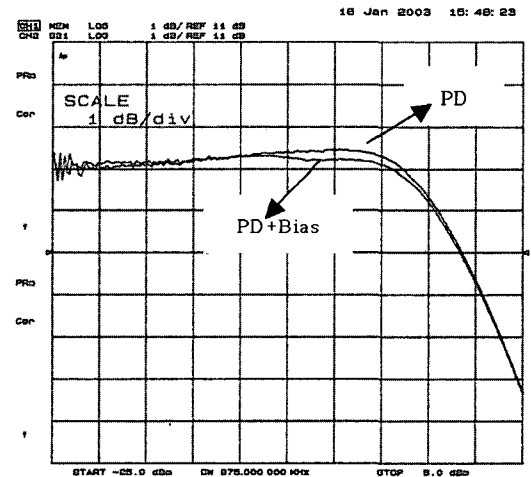


그림 7. 전력 증폭기의 AM-AM 특성  
Fig. 7. AM-AM characteristics of the amplifier.

제어 회로를 동작시키기 전에 비해 선형적인 이득 특성을 가짐을 볼 수 있다.

#### IV. 결론

사전 왜곡형 선형 증폭기는 회로가 간단하고 제작비용이 적은 장점이 있으나, 상호 변조 왜곡 hump 때문에 낮은 출력 전력에서 상호 변조 왜곡 특성이 나빠지는 단점이 있다. 본 논문에서는 이와 같은 단

점을 개선하기 위해 출력 전력에 따라 AB급 전력 증폭기의 바이어스를 제어하는 방법을 제안하였다. 제작된 16 W급 사전 왜곡형 전력 증폭기에 출력 전력에 따라 바이어스를 제어하는 방법을 적용하여, 넓은 출력 전력 범위에서 약 10 dB의 3차 상호 변조 왜곡 성분이 개선됨을 확인하였다.

참 고 문 헌

[1] Scott R. Novis, Leonard Pelletier, "IMD parameters describe LDMOS device performance", *Microwave & RF*, vol. 37, no. 7, pp. 69-74, Jul. 1998.  
 [2] Sanggee Kang, Himin Lee, and Sungyong Hong, "Bias control for linearizing class AB amplifiers using envelope detection", *VTC2005 Fall*, Sep. 2005.  
 [3] P. B Kenington, *High-Linearity RF Amplifier Design*, Artech House, 2000.

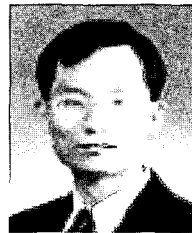
이 희 민



1999년 2월: 충남대학교 전파공학과 (공학사)  
 2001년 2월: 충남대학교 전파공학과 (공학석사)  
 2001년 3월~현재: 충남대학교 전파공학과 박사과정  
 [주 관심분야] 초고주파 회로, 전력

증폭기 및 선형증폭기

홍 성 용



1985년 2월: 충남대학교 전자공학과 (공학사)  
 1988년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학석사)  
 1994년 8월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학박사)  
 1996년 9월~현재: 충남대학교 전

파공학과 교수

[주 관심분야] 초고주파 회로

강 상 기



1988년 2월: 단국대학교 전자공학과 (공학사)  
 1994년 2월: 단국대학교 전자공학과 (공학석사)  
 2005년 2월: 충남대학교 전파공학과 (공학박사)  
 1994년 2월~2005년 3월: 한국전자

통신연구원 선임연구원

2005년 3월~현재: 군산대학교 정보통신공학부 교수

[주 관심분야] 이동통신 시스템, 전력증폭기 및 선형증폭기