

Doherty 증폭기를 이용한 Feedforward 전력 증폭기의 효율 개선에 관한 연구

A Study for Efficiency Improvement of Feedforward Power Amplifier by Using Doherty Amplifier

이택호 · 정성찬 · 박천석

Taek-Ho Lee · Sung-Chan Jung · Cheon-Seok Park

요약

본 논문은 피드포워드 전력 증폭기의 효율 개선을 위한 도허티 증폭기의 적용에 관한 연구이다. 성능 분석을 위하여 중심 주파수 2.14 GHz의 WCDMA 4FA 신호를 인가하여 평균 출력 전력 15 W에서 측정하였다. 적용한 도허티 증폭기는 동급 class AB 증폭기와 비교하여 고효율 저선형성의 특성을 나타내며 효율 개선을 위하여 피드포워드 전력 증폭기(FPA)의 주 증폭기로 사용되었다. 특성 변화를 분석하기 위해 선형성과 효율 특성이 다른 2가지 종류의 도허티 증폭기를 적용하였으며 각각의 FPA들은 평균 출력 15 W에서 효율은 2 % 이상의 개선을 보였지만 선형성은 1.5 dBc 이상 저하되는 특성을 나타냈다. 저하된 선형성을 개선하기 위하여 부가적으로 오차 루프의 결합 계수(CF)와 오차 증폭기의 용량을 변화시켰다. CF와 오차 증폭기의 용량 변화로 효율 개선과 높은 선형성을 얻을 수 있었고 도허티 증폭기가 35 dBc 이상의 선형성을 유지하면 부가적인 변화 없이 평균 출력 전력 15 W에서 2 % 이상의 효율 개선과 충분한 선형성을 얻을 수 있다.

Abstract

This paper reports an application of Doherty amplifier for efficiency improvement of feedforward power amplifier(FPA). For performance analysis, we measured 15 W average output power using WCDMA 4FA input signal with a center frequency 2.14 GHz. The applied Doherty amplifier presents the characteristics of high efficiency and low linearity in comparison to the class AB amplifier, and it was used as main amplifier of FPA for efficiency improvement. To analyze the change of characteristic, tow Doherty amplifiers whose linearity and efficiency are different were applied. The applied FPAs are improved about 2 % or more performance in efficiency, but decreased in linearity on 15 W average output power. We additionally modified the coupling factor(CF) of the error loop and the error amplifier capacity for linearity improvement. As a result, the efficiency improvement and high linearity resulted from the change of CF and error amplifier capacity. However, we think if the linearity of Doherty amplifier were more than 35 dBc, the FPA would improve the performance about 2 % or more efficiency and maintain enough linearity.

Key words : Feedforward, Doherty, Amplifier

I. 서론

무선 통신 시스템에 사용되는 전력 증폭기의 가

장 중요한 특성은 선형성과 효율이다. 일반적으로 전력 증폭기의 최대 전력 효율을 얻기 위해서는 포화 영역 근처에서 동작시켜야 하지만, 포화 영역 근

성균관대학교 전자전기공학부(Department of Electronic and Electrical Engineering, SungKyunKwan University)

· 논문 번호 : 20050221-021

· 수정완료일자 : 2005년 11월 15일

처에서 동작하는 증폭기는 비선형 특성에 의해 혼변조 신호를 발생하게 된다. 발생된 혼변조 신호는 원신호에 인접하여 필터로 제거하기 어려우며, 인접 채널에 영향을 주어 증폭기의 선형성을 저하시키는 원인이 된다. 그러나 비선형 특성을 최소화 하기 위해 전력 증폭기의 출력 전력을 포화 영역 근처에서 back off하여 낮은 영역에서 동작시키면 효율이 감소하는 원인이 된다. 효율의 감소로 전력 손실이 증가하고 발열 문제와 방열 문제 등 문제점을 발생시킨다.

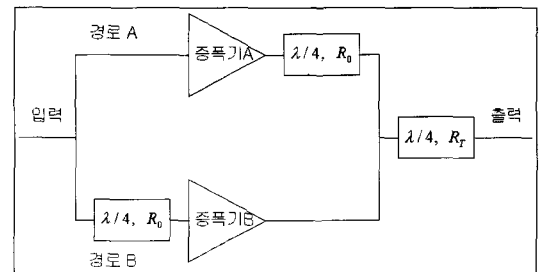
이러한 전력 증폭기의 선형성과 효율을 개선하기 위하여 많은 연구가 진행되어 있다. 선형성 개선을 위한 방법으로 back off, feedback, feedforward, pre-distortion 등이 소개되어 있으며 효율 개선을 위한 방법으로 Doherty, EER(Envelope Elimination and Restoration), Chireix's outphasing 등의 기법이 소개되어 있다^{[1]-[3],[9]}. 이 중 피드포워드 방식은 높은 선형성을 만족하기 위해 현재 가장 많이 사용되고 있는 기법으로 외부 환경 변화에 따른 특성 변화가 크지 않고 선형성 개선이 크며 광대역이라는 장점이 있지만, 회로가 복잡하고 효율이 비교적 낮다는 단점이 있다. 또한 효율 개선을 위한 도허티 기법은 부가적인 회로가 없이 구현이 간단한 장점이 있지만 높은 효율 개선에 비해 선형성이 저하되는 단점이 있다. 그러나 피드포워드 구조의 주 증폭기로 도허티 증폭기를 사용하여 피드포워드 전력 증폭기(FPA)의 효율 개선을 얻을 수 있다.

본 논문에서는 FPA의 효율 개선을 위해 도허티 증폭기를 FPA의 주 증폭기로 사용하였다. 도허티 증폭기를 이용하는 FPA의 성능은 동급의 class AB 증폭기를 이용하는 FPA와 효율 및 선형성을 중심으로 비교 분석하였다. 성능은 중심 주파수 2.14 GHz의 WCDMA 4FA를 이용하여 선형성은 중심 주파수에서 offset 12.5 MHz 인접채널 누설비(ACLR)를 측정하고 각각 증폭기에 인가된 drain 전압은 27 V이다. 도허티 증폭기를 적용한 FPA는 효율은 개선되지만 선형성은 저하되는 특성을 나타냈고, 저하된 선형성을 개선하기 위해 오차 루프 결합기의 결합 계수(CF) 및 오차 증폭기의 용량을 변화시켜 FPA의 선형성을 개선하였다.

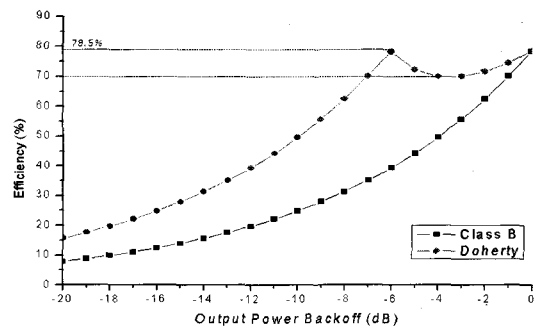
II. 도허티 증폭기

2-1 이상적인 도허티 증폭기

이상적인 도허티 증폭기의 기본 구조는 그림 1(a)와 같이 증폭기 A와 증폭기 B의 증폭기가 병렬로 연결되고 출력단에 $\lambda/4$ 전송 선로를 가진다. 여기서 증폭기 A는 class B로 증폭기 B는 class C로 동작하며, 경로 B의 $\lambda/4$ 전송 선로는 90° 위상차를 만들고 경로 A의 $\lambda/4$ 전송 선로는 90° 위상을 보상해 준다. 특히 경로 A의 $\lambda/4$ 전송 선로는 증폭기 A의 부하 임피던스가 증폭기 B의 흐르는 전류에 의해 $2R_0$ 에서 R_0 로 변조하는 부하 임피던스 변조(load modulation)를 발생한다^{[2],[3]}. 부하 임피던스 변조에 의해 도허티 증폭기의 효율은 그림 1(b)와 같이 증폭기 A만 동작하는 6 dB back off 지점까지 선형적으로 증가하여 최대 효율 78.5 %를 얻는다. 증폭기 B가 동작하면 출력이 증가함에 따라 효율이 떨어지지만 포화 영역 근처에서 class B 증폭기의 최대효율인 78.5 %를 얻



(a)



(b)

그림 1. (a) 도허티 증폭기의 기본 구조, (b) 도허티 증폭기의 효율

Fig. 1. (a) Basis structure of Doherty amplifier, (b) Efficiency of Doherty amplifier.

게 되며 출력 손실은 없다^{[2]-[7]}.

2-2 도허티 증폭기 제작

이상적인 도허티 증폭기는 증폭기 A는 class B, 증폭기 B는 class C로 동작하지만^[4] 선형성 개선을 위해 이동 통신용 전력 증폭기에 사용되는 대부분의 트랜지스터(TR)는 class AB로 동작한다. 이러한 TR의 특성으로 도허티 증폭기를 제작할 때는 증폭기 A는 class AB로, 증폭기 B는 gate 전압을 낮추어 class B에 가깝게 동작하고, 부가적인 최적화로 이상적인 도허티 증폭기에 근접해야 한다. 그림 2는 제작된 도허티 증폭기의 구조이며 TR은 모토로라사의 MRF-5P21180이고 도허티 구조를 적용하였다. 도허티 증폭기의 중요한 점은 증폭기 A의 출력단 $\lambda/4$ 전송선로에 의한 부하 임피던스 변조로 효율을 개선시키고 출력 저하를 최소화 하는 것이다. 증폭기 B의 경우 gate 전압을 낮추면 비선형 특성이 증가하고 원신호의 출력이 감소하는 특성을 나타낸다. 이러한 특성으로 도허티 증폭기의 출력은 증폭기 A의 출력에 의존하게 되는데 T자 접합부에서 증폭기 B로 누설되는 전력은 전체적인 도허티 증폭기의 출력 저하에 큰 영향을 준다. 따라서 그림 2의 C 노드에서 증폭기 B를 바라본 임피던스를 크게 하여 손실되는 전력을 최소화 하고자 phase offset line을 첨가하였다^{[5]-[7]}.

또한 도허티 증폭기의 선형성은 증폭기 B의 비선형 특성 증가로 저하될 수 있지만 증폭기 A와 증폭기 B의 다른 class로 개선될 수 있다^[8]. 능동 소자의 비선형 출력 전류는 테일러 시리즈(Taylor series expansion)를 사용하여 근사적으로 다음과 같이 전개할 수 있다.

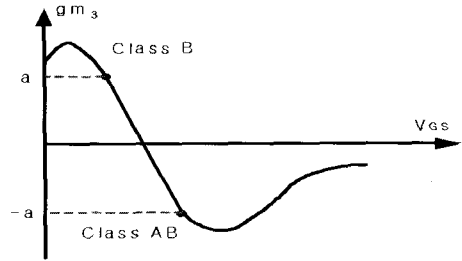


그림 3. FETs의 gate 전압에 대한 gm3 곡선
Fig. 3. A gm3 curve versus gate bias for FETs.

$$I_{out} = gm_1 v_i + gm_2 v_i^2 + gm_3 v_i^3 + \dots$$

여기서 v_i 는 입력 전압이고 gm_n 는 비선형 상호 컨덕턴스의 x 차 계수를 나타낸다. 3차 혼변조 성분은 $gm_3 v_i^3$ 에 의해 발생하며 gate 전압에 따른 FETs의 gm_3 특성을 보면 그림 3과 같다. 도허티 증폭기에서 증폭기 A는 class AB이며 증폭기 B는 유사한 class B로 동작하므로 서로 다른 gm_3 의 특성에 의해 T자 접합부에서 혼변조 성분을 서로 상쇄시킬 수 있다.

그림 4는 제작한 도허티 증폭기와 각각 증폭기 A와 증폭기 B의 전력 스펙트럼 밀도(PSD)를 측정 한 것이다. 중심 주파수 2.14 GHz의 2-tone(BW=5 MHz)을 이용하였으며, 측정된 도허티 증폭기의 평균 출력 전력은 43 dBm이다. 그림 4에서 증폭기 B는 class B에 근접하고자 gate 전압을 2 V로 낮추었고, 그 결과 원신호의 출력이 감소하여 비선형 출력과 비슷하였다. 그림 4(c)를 보면 도허티 증폭기의 출력 전력에서 각각 증폭기의 비선형 특성이 상쇄되는 것을 알 수 있으나, 증폭기 A의 출력에 대부분 의존하고 증폭기 B는 비선형 특성을 감소시키는 역할로 작용하는 것을 알 수 있다. 도허티 증폭기가 최대 효율을 얻기 위해서 증폭기 B의 gate 전압을 낮추어야 하지만 낮은 gate 전압에서 좋은 상쇄 특성을 얻을 수는 없기 때문에 적절한 gate 전압 지점을 찾아야 한다.

이러한 특성을 고려하여 도허티 증폭기를 FPA의 주 증폭기로 사용할 경우, 나타나는 결과를 분석하기 위해 증폭기 B가 효율 개선과 함께 선형성이 개선되는 gate 전압인 도허티 증폭기 A와 최대 효율을 얻는 gate 전압인 도허티 증폭기 B를 제작하였다. 이때 각각 증폭기들의 gate 전압은 2 V 이하이다. 그림 5는 제작된 도허티 증폭기의 선형성과 효율을 동급 class AB 증폭기와 비교하여 나타낸다. 평균 출력 전

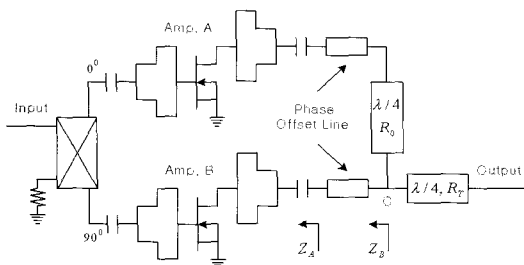
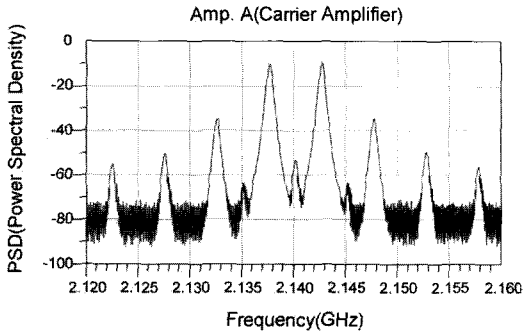
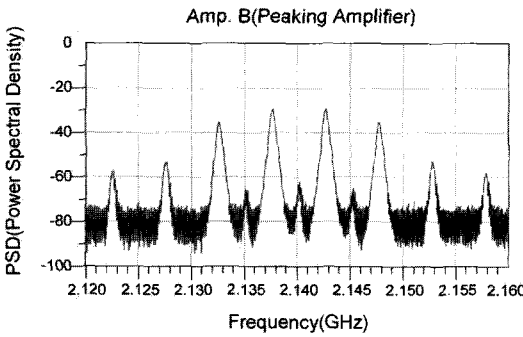


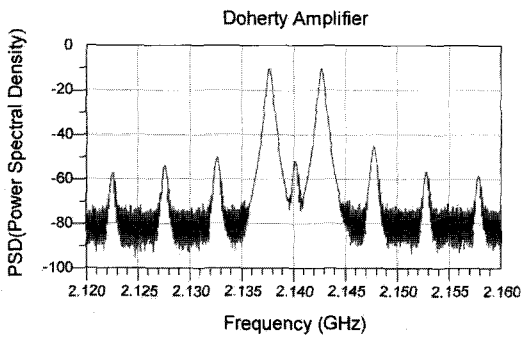
그림 2. 제작된 도허티 증폭기의 구조
Fig. 2. Structure of designed Doherty amplifier.



(a) 증폭기 A



(b) 증폭기 B



(c) Doherty

그림 4. 증폭기의 PSD
Fig. 4. PSD of amplifier.

력 44 dBm에서 효율은 도허티 증폭기 A는 29.44 %, 도허티 증폭기 B는 31.86 %이며 선형성은 도허티 증폭기 A가 32.5 dBc, 도허티 증폭기 B가 31.17 dBc를 나타낸다. 동급 class AB 증폭기와 비교하여 효율은 도허티 증폭기 A가 9.04 %, 도허티 증폭기 B가 11.46 % 개선되었지만, 선형성은 도허티 증폭기 A는 4.5 dBc, 도허티 증폭기 B는 5.83 dBc 저하되었다.

Ⅲ. 피드포워드 전력 증폭기

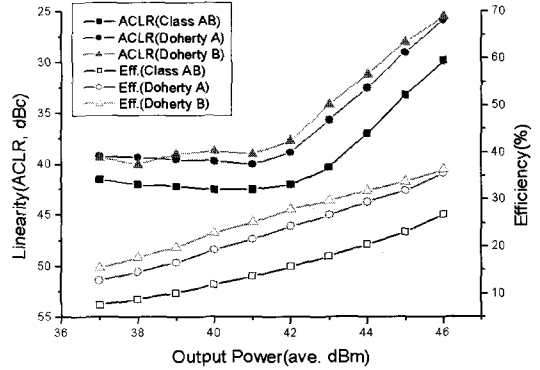


그림 5. 도허티 증폭기의 선형성 및 효율
Fig. 5. Linearity and efficiency of Doherty.

3-1 동작 원리

일반적인 FPA 구조는 그림 6과 같이 두 개의 루프를 가지는 형태로 구성되어 있다. 본 논문에서는 첫 번째 루프를 신호 루프(signal loop), 두 번째 루프를 오차 루프(error loop)라고 하겠다. 신호 루프에서는 두 경로에 의해 원 신호를 상쇄시켜 주 증폭기의 비선형 특성에 의해서 발생한 혼변조 신호만 남게 한다. 오차 루프에서는 얻어진 혼변조 신호를 오차 증폭기로 증폭하여 지연 선로를 통과한 주 증폭기의 출력 신호와 재결합 시켜 증폭된 원 신호만 존재하게 한다. 이때 각 루프의 상쇄는 가변 감쇠기와 가변 위상 변환기(VM)를 조절하여야 하며, 서로 다른 두 경로를 통해서 결합되는 신호는 크기가 동일하고 위상차가 180°가 되면 완전히 상쇄되지만, 크기와 위상에 차이가 발생하면 결합된 신호가 완전하게 상쇄되지 않는다. 상쇄되지 않은 혼변조 신호는 피드포워드 증폭기의 성능 저하의 원인이 된다^{[1]~[3]}.

FPA의 효율은 그림 6과 같이 주 증폭기와 오차

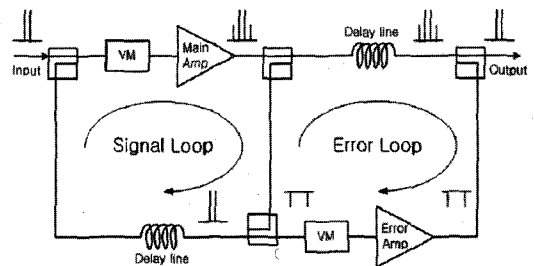


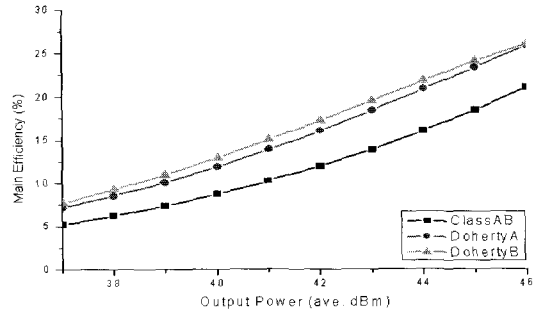
그림 6. 기본적인 피드포워드 선형화 구조
Fig. 6. Basic feedforward linearization structure.

증폭기로 구성되어 있기 때문에 낮은 특성을 가진다. 이러한 효율은 신호 루프의 상쇄 특성, 오차 루프의 결합 계수(CF) 및 지연선(delay line) 손실, 각각 증폭기의 효율에 따라 변화하지만 주 증폭기를 제외한 나머지에 의한 변화량은 작다. 주 증폭기의 효율이 전체적인 FPA의 효율에 가장 영향을 주는 요인이므로 고효율 특성을 가진 도허티 증폭기를 이용하여 FPA의 효율을 개선시킬 수 있다^{[1]~[3],[9]}.

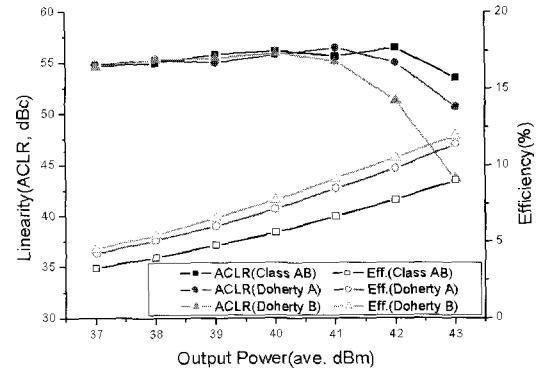
3-2 피드포워드 전력 증폭기 제작

효율 개선을 위하여 도허티 증폭기를 주 증폭기로 적용한 FPA의 구조는 그림 6과 같다. 앞단의 분배기와 최종단의 합성기는 10 dB 결합기, 신호 루프에서 주 증폭기와 지연 선로 뒤의 결합기는 각각 30 dB이 사용되었다. 신호 루프의 위상 크기는 AP 형태의 VM, 오차 루프의 위상 크기는 IQ 형태의 VM으로 조절하였다. 왜곡 신호를 증폭하는 오차 증폭기의 피크 포락선 전력(PEP)은 주 증폭기의 PEP와 비교하여 1/4인 출력 전력을 가진다. 도허티 증폭기를 주 증폭기로 이용하기 위해 충분한 입력 전력을 공급해 주는 구동 증폭기는 동급 class AB 증폭기와 같은 MHL21336과 MRF21045의 2단으로 구성하였다. 그림 7은 구동 증폭기를 포함한 주 증폭기들의 효율과 도허티 증폭기를 주 증폭기로 적용한 FPA의 효율과 선형성을 나타내고 있다.

주 증폭기의 효율은 drive 증폭기의 소비 전력에 의해 평균 출력 전력 44 dBm에서 효율은 도허티 증폭기 A는 20.86 %, 도허티 증폭기 B는 21.79 %이며, 동급 class AB 증폭기와 비교하여 각각 4.85 %, 5.78 % 개선되었으며 선형성은 그림 5와 같다. 제작된 주 증폭기를 FPA에 적용하면 평균 출력 전력 42 dBm에서 효율은 도허티 증폭기 A는 9.78 %, 도허티 증폭기 B는 10.48 %이며 동급 class AB 증폭기에 비해 각각 2.06 %, 2.76 % 개선되었다. 그러나 선형성은 도허티 증폭기 A는 55 dBc, 도허티 증폭기 B는 51.3 dBc를 나타내어 class AB 증폭기와 비교하여 각각 1.5 dBc, 5.17 dBc 저하되었다. 저하된 선형성의 원인을 분석하기 위해 FPA의 출력 전력에 따른 주 증폭기의 선형성을 측정하였다. 측정 결과 그림 8과 같이 주 증폭기의 선형성은 FPA의 평균 출력 전력 42



(a)



(b)

그림 7. (a) 주 증폭기의 효율, (b) FPA의 선형성 및 효율

Fig. 7. (a) Efficiency of main amplifier, (b) Linearity and efficiency of FPA.

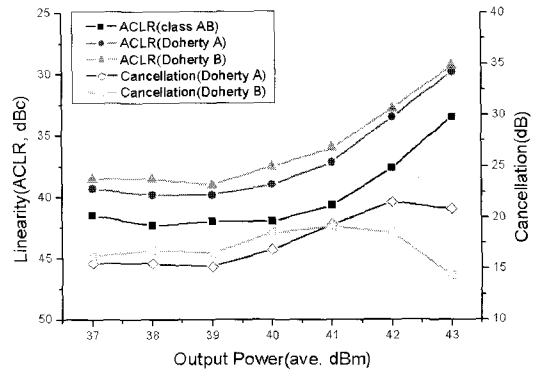


그림 8. 주 증폭기의 선형성 및 오차 루프의 상쇄값
Fig. 8. Linearity of main amplifier and cancellation value of error loop.

dBm에서 도허티 증폭기의 경우 33 dBc 이하를 나타내어 class AB보다 약 4 dBc 이상 저하된 특성이었다. 또한 오차 루프에서 왜곡 신호의 상쇄 값은 도

허티 증폭기 A가 21.5 dB, 도허티 증폭기 B가 18.5 dB로 증폭기 B가 최대 효율을 얻는 지점의 gate 전압인 도허티 증폭기 B에서 낮은 값을 나타내었다.

주 증폭기의 낮은 선형성은 오차 증폭기의 입력을 증가시켜 비선형 특성을 증가시킨다. 증가된 비선형 특성은 최종단 결합기에서 위상 및 크기 불일치를 발생시켜 왜곡 신호의 상쇄를 저하시킨다. 따라서 주 증폭기의 낮은 선형성으로 저하된 오차 루프의 상쇄 특성을 개선시키기 위하여 부가적인 수정이 필요하다.

IV. 피드포워드 전력 증폭기 수정

주 증폭기로 사용되는 도허티 증폭기의 낮은 선형성은 오차 증폭기의 비선형 특성을 증가시켜 새로운 왜곡 신호를 발생하여 오차 루프의 상쇄 특성을 저하시킨다. 오차 증폭기의 비선형 특성을 줄여 오차 루프의 상쇄 특성을 개선시키기 위하여 오차 루프의 결합 계수(CF)와 오차 증폭기의 용량을 변화시켰다.

4.1 결합 계수 변화

FPA에서 결합 계수(CF) 변화는 주 증폭기에서 손실되는 출력 전력의 변화를 가져온다. FPA에서 원하는 출력 전력을 얻기 위해 주 증폭기는 그림 6에서 결합기들의 삽입 손실, 오차 루프의 지연선 손실 등에서 발생한 손실만큼 더 높은 출력 전력을 발생시켜야 한다. 손실이 증가하면 주 증폭기 출력 전력이 증가하고, 비선형 특성도 증가하여 전체적인 선형성 저하를 가져온다. 또한 CF 변화는 FPA의 오차 루프에서 왜곡 신호를 소거하기 위한 오차 증폭기의 출력 전력을 변화시킨다. 표 1은 제작된 결합기의 CF에 따른 주 증폭기의 손실과 오차 증폭기의 출력 전력을 네트워크 분석기로 측정할 것이다. 오차 증폭기의 출력 전력은 주 증폭기의 출력 전력을 0 dBm

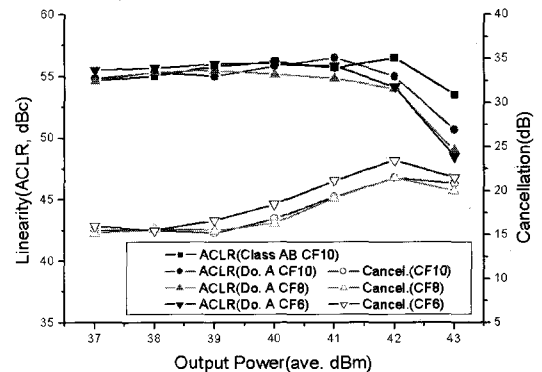
표 1. CF 변화에 의한 FPA의 특성
Table 1. Characteristic of FPA by CF change.

	CF 10 dB	CF 8 dB	CF 6 dB
Loss	1.85 dB	2.2 dB	2.7 dB
Output power	8.35 dBm	5.33 dBm	2.96 dBm
Relative back-off	0 dB	3.02 dB	5.39 dB

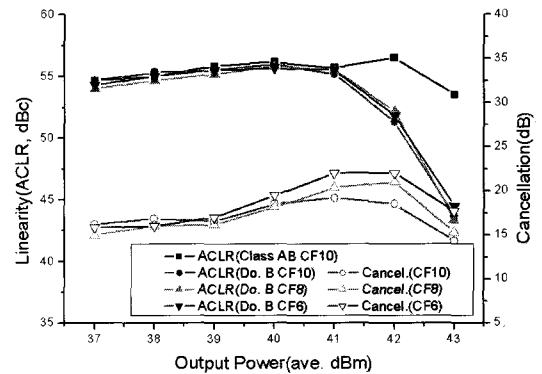
으로 고정하고 최종단 결합기에서 왜곡신호 상쇄가 되는 값이다.

측정 결과 CF가 감소하면서 손실은 증가하지만 오차 증폭기는 CF 10 dB를 기준으로 back off된 출력 전력이 나왔다. CF 8 dB인 경우 CF 10 dB를 사용할 경우 나오는 오차 증폭기의 절반 출력으로 왜곡 신호를 소거할 수 있다. 그림 9는 CF 변화에 따른 FPA의 선형성과 오차 루프의 상쇄 값을 나타낸다.

FPA의 전체적인 선형성은 CF 변화에 따라 변화가 없지만 오차 루프의 상쇄 값이 CF가 감소하면 증가하였다. CF 변화 후 오차 증폭기의 비선형 특성 감소로 오차 증폭기에서 발생하는 왜곡 신호가 감소하였기 때문이다. 선형성은 삽입 손실 증가로 주 증폭기의 비선형 특성이 증가하여 개선되지 않았다.



(a) 도허티 증폭기 A
(a) Doherty amplifier A



(b) 도허티 증폭기 B
(b) Doherty amplifier B

그림 9. CF 변화 후 선형성 및 오차 루프의 상쇄 값
Fig. 9. Linearity and cancellation value of error loop by CF change.

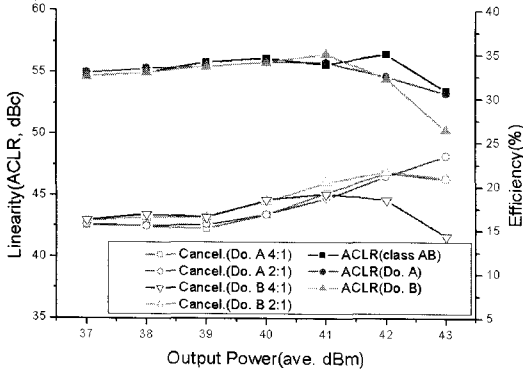


그림 10. 오차 증폭기의 용량 변화 후 선형성 및 오차 루프의 상쇄값
 Fig. 10. Linearity and cancellation value of error loop by size change of error amplifier.

효율은 주 증폭기의 출력 증가로 작은 값이 감소하였지만 그림 7(b)와 유사한 값을 보였다.

4.2 오차 증폭기 용량 변화

제작된 FPA에서 주 증폭기와 오차 증폭기의 출력 전력은 PEP를 기준으로 4:1이다. 오차 증폭기의 비선형 특성을 줄이기 위해 용량을 기존의 4:1에서 2:1로 증가하였다. 용량 증가로 인해 오차 증폭기의 구조는 ERA5SM, AH1, MHL21336, MRF21045의 4:1에서 AH1, MHL21336, MRF21045, MRF21045(parallel)의 2:1로 구성되어 전력 손실이 증가하였다. 그림 10은 오차 증폭기의 용량 변화에 따른 FPA의 선형성과 오차 루프의 상쇄 값을 나타낸다. 오차 증폭기의 용량 변화에 의해 평균 출력 전력 42 dBm에서 FPA의 선형성은 오차 루프에서 왜곡 성분의 상쇄가 충분히 이루어져 class AB 증폭기와 유사하게 나타났다. 그러나 오차 증폭기의 소비 전력 증가로 효율은 도허티 증폭기 A가 8.51%, 도허티 증폭기 B가 9.03%로 class AB 증폭기에 비해 각각 0.79%, 1.31%가 개선되었다.

V. 결 론

본 논문에서는 도허티 증폭기를 주 증폭기로 사용하는 15 W FPA를 제작하였으며 효율 및 선형성을 측정하였다. 도허티 증폭기를 주 증폭기로 사용할 경우 FPA의 특성을 분석하기 위해 증폭기 B가

효율 개선과 함께 선형성이 개선되는 gate 전압인 도허티 증폭기 A와 최대 효율을 얻는 gate 전압인 도허티 증폭기 B를 제작하였다. 도허티 증폭기를 FPA의 주 증폭기로 사용하면 효율은 평균 출력 전력 42 dBm에서 2% 이상의 개선을 얻었지만 선형성이 저하되는 특성을 나타내었다. 선형성 저하의 원인은 도허티 증폭기의 낮은 선형성으로 인한 오차 증폭기의 비선형 증가와 오차 루프에서 왜곡 성분의 상쇄가 충분히 이루어지지 않았기 때문이다. 저하된 선형성을 개선하기 위해 FPA의 최종단 결합기의 CF 및 오차 증폭기의 용량을 변화시켰으며 그에 따른 결과를 측정하였다. CF 변화에 따라 오차 루프에서 왜곡 성분의 상쇄는 증가하였지만 삽입 손실의 증가로 주 증폭기의 비선형 특성이 증가하여 선형성 개선은 이루어지지 않았다. 오차 증폭기의 용량 변화는 선형성이 동급 class AB 증폭기와 유사한 값을 나타냈지만 효율 개선은 약 1% 정도로 낮았다. 이러한 수정은 출력 전력에 따른 주 증폭기의 선형성에 의해 선택할 수 있다. 주 증폭기의 선형성이 33 dBc 이상일 경우는 CF 변화로 높은 선형성과 큰 효율 개선을 얻을 수 있으며 33 dBc 이하인 경우에는 오차 증폭기의 용량을 변화시켜 높은 선형성을 유지하며 효율 개선을 얻을 수 있다. 그러나 도허티 증폭기가 주 증폭기로 동작하면서 FPA의 출력 전력 범위에서 35 dBc 이상의 선형성을 유지하면 부가적인 수정없이 높은 선형성과 큰 효율 개선을 얻을 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] N. Pothecary, *Feedforward Linear Power Amplifiers*, Artech House Inc., Norwood, MA, 1999.
- [2] S. C. Cripps, *RF Power Amplifiers for Wireless Communications*, Artech House Inc., Norwood, MA, 1999.
- [3] P. B. Kenington, *High Linearity RF Amplifier Design*, Artech House Inc., Norwood, MA, 2000.
- [4] W. H. Doherty, "A new high efficiency power amplifier for modulated waves", *Proceedings of the IRE*, vol. 24, no. 9, pp. 1163-1182, 1936.
- [5] Y. Yang, J. Yi, Y. Y. Woo, and B. Kim, "Optimum design for linearity and efficiency of a microwave

Doherty amplifier using a new load matching technique", *Microwave Journal*, pp. 20-36, Dec. 2001.

[6] Y. Yang, J. Cha, B. Shin, and B. Kim, "A fully matched N-way Doherty amplifier with optimized linearity", *IEEE Microwave Theory Tech.*, vol. 51, no. 12, pp. 986-993, Dec. 2003.

[7] J. Cha, J. Kim, B. Kim, J. Lee, and S. Kim, "Highly efficiency power amplifier for CDMA base station using Doherty configuration", *IEEE Microwave Th-*

ory Tech., vol. 52, pp. 533-536, Jun. 2004.

[8] J. C. Pedro, J. Perez, "Accurate simulation of GaAs MESFET's intermodulation distortion using a new drain-source current model", *IEEE Microwave Theory Tech.*, vol. 42, no. 1, pp. 25-33, Jan. 1994.

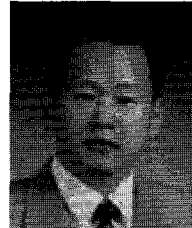
[9] K. J. Parsons, P. B. Kenington, "The efficiency of a feedforward amplifier with delay loss", *IEEE Transactions on Vehicular Tech.*, vol. 43, no. 2, May 1994.

이택호



2003년 2월: 성균관대학교 정보통신공학부 (공학사)
 2005년 2월: 성균관대학교 전자전기공학과 (공학석사)
 2005년~현재: 삼성전자 정보통신총괄 무선사업부
 [주 관심분야] 마이크로파 능동 및 수동소자, 전력 증폭기 및 선형화기 설계

박천석



1988년 2월: 서울대학교 전기공학과 (공학사)
 1990년 2월: 한국과학기술원 전기전자공학과 (공학석사)
 1995년 2월: 한국과학기술원 전기전자공학과 (공학박사)
 1995년~현재: 성균관대학교 정보통신공학과 교수
 [주 관심분야] 마이크로파 능동 및 수동소자, 안테나, 전력 증폭기 및 선형화기 설계

정성찬



1998년 2월: 성균관대학교 전자공학과 (공학사)
 2000년 2월: 성균관대학교 전자전자 컴퓨터공학과 (공학석사)
 2000년 3월~현재: 성균관대학교 전자전기공학과 박사과정
 [주 관심분야] 전력 증폭기 및 선형화기 설계