

F급 바이어스를 이용한 3-way 도허티 전력증폭기의 효율개선에 관한 연구

정회원 이 기 학*

A Study on the Improvement of Efficiency in 3-way Doherty Power Amplifier using Class F

Ki-Hak Lee* *Regular Member*

요 약

본 논문에서는 W-CDMA 대역의 전력증폭기의 효율 및 선형성 개선을 위해 F급 바이어스와 도허티 기술을 적용하여 고효율 및 높은 선형성을 갖는 F급 3-way 도허티 전력증폭기를 설계 및 제작하였다. 피킹 증폭기의 바이어스를 조절하여 선형성을 개선시킬 수 있는 방법과 동시에 효율도 개선시킬 수 있는 F급 바이어스 방법에 대해 제시하였다. 전력증폭기의 측정결과 W-CDMA 4FA 평균출력 20W에서 ACLR은 5 MHz offset에서 각각 -41.17 dBc의 특성을 나타냈으며 이때의 효율은 약 31.2%의 특성을 얻었다.

Key Words : Doherty, 3-way, Class F, W-CDMA

ABSTRACT

In this paper, 3-way Doherty power amplifier with W-CDMA is designed and implemented for improvement of efficiency and linearity. It uses class F and Doherty technique for high efficiency and linearity. Peaking amplifiers proposed class F for improvement of efficiency and using adjustment of bias point for improvement of linearity simultaneously. Power amplifier's measurement result using proposed technique in W-CDMA 4FA, average output power 20 W shows ACLR -41.17 dBc @ 5 MHz offset, and efficiency of 31.2 %

I. 서 론

전력증폭기는 다른 전력 장비를 구동하기 위해 높은 출력전력을 가지기 때문에 높은 효율을 갖는 전력 증폭기는 소모되는 전력을 최소화 할 수 있다. 따라서 효율이 높은 전력 증폭기는 시스템의 열손실에 대한 부담을 덜어주게 되고 결과적으로 시스템의 크기와 부피를 줄여 비용의 경감뿐만 아니라 시스템의 신뢰성도 향상 시킬 수 있게 해준다^[1]. 고효율 증폭기의 종류에는 여러 가지 형태가 있지만 고주파에서도 높은 효율을 갖는 형태의 증폭기는 class F 증폭기와 class E 증폭기가 대표적이다. 이

외에도 class F 증폭기와 반대의 출력 파형을 갖는 class F- 증폭기와 class F 증폭기와 class E 증폭기 사이에 있는 class E/Fodd 증폭기가 있다^[2]. 본 논문에서는 싱글-엔드(single-ended) 구조의 LDMOS FET와 푸쉬-풀(push-pull) 구조의 LDMOS FET를 이용하여 도허티 전력증폭기를 구성하였고, 전력 증폭기의 선형성을 개선하기 위해 단일 2-way 구조가 아닌 3-way 구조로 구성하였다^[3]. 또한 선형성과 trade-off 관계에 있는 효율을 개선하기 위해 고주파에서 활용 가능한 스위치 모드의 전력 증폭기인 F급 바이어스를 이용하여 3-way 구조의 도허티 전력 증폭기의 감소하는 효율을 개선시켰다^[4].

* 안양과학기술대학교 IT학부 정보통신과

논문번호 : 09014-0324, 접수일자 : 2009년 3월 24일

II. 3-way class F 도허티 전력 증폭기

그림 1은 class F를 이용한 3-way 도허티 전력증폭기의 구성도이다. 피킹 증폭기의 출력단에 고조파 제어회로를 구성하였다.

그림 2는 설계된 증폭기의 시간 영역에서의 전압과 전류의 시뮬레이션 결과이다. 출력파형을 살펴보면 전압 파형의 윗부분이 평탄해지기 시작하면서 구형파를 닮아가는 것을 볼 수 있다. 즉 고조파 제어회로가 적절한 고조파 제어를 수행하고 있음을 알 수 있다.

도허티 구조는 2-way의 형태를 갖는 기본구조에서 3-way로 변화시켰을 때에는 효율뿐만 아니라 선형성도 함께 개선되는 효과가 있다. 또한 3-way로

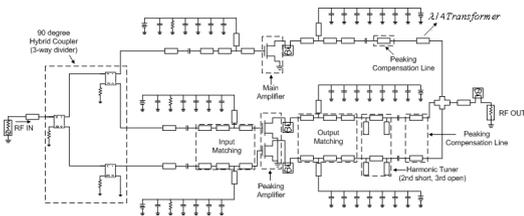


그림 1. 3-way class F 도허티 전력증폭기의 구성도
Fig. 1. Design schematic of 3-way class F Doherty power amplifier

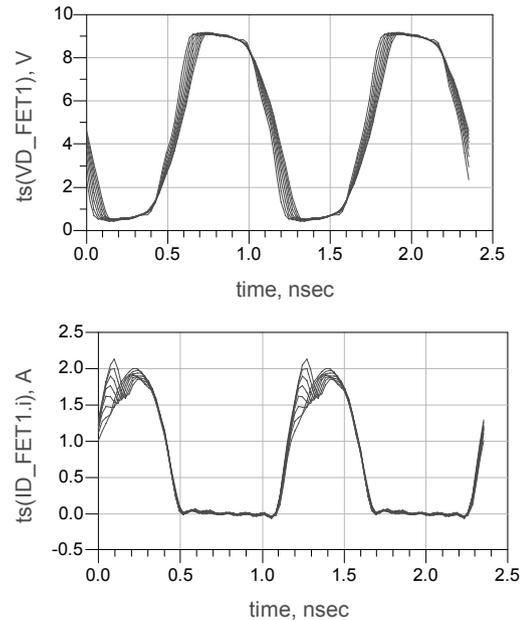
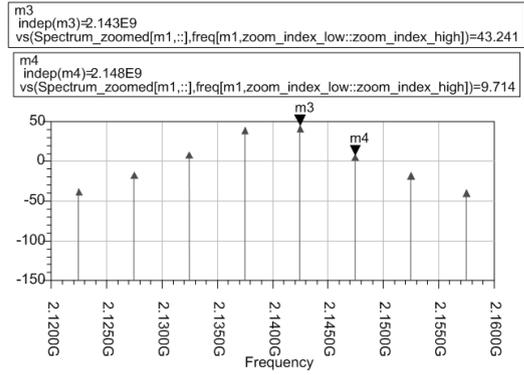


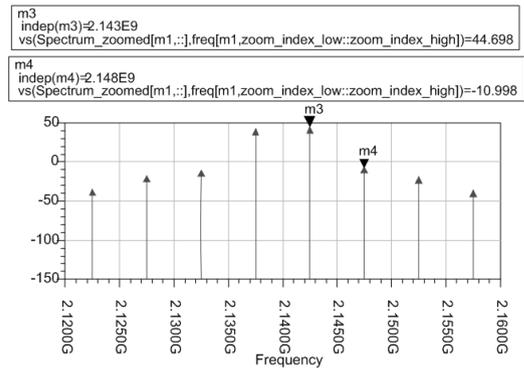
그림 2. 설계된 도허티 전력증폭기의 전압 및 전류파형
Fig. 2. Voltage waveform and current waveform of Doherty power amplifier

구성된 전력 증폭기 구조에 class F 구조를 접목시키게 되면 효율은 더욱 개선될 수 있게 된다. 그림 3에서는 각각의 증폭기의 선형성 특성을 나타내며, 그림 4에서는 효율 특성을 보인다.

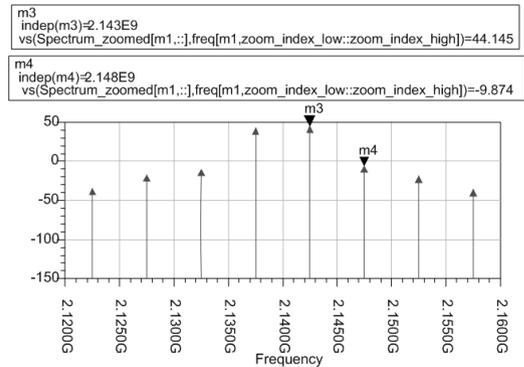
그림에서 볼 수 있듯이 3-way 도허티 구조를 사용함으로써 2-way 도허티 구조보다 선형성이 개선



(a) 2-way 도허티 전력 증폭기



(b) 3-way 도허티 전력 증폭기



(c) 3-way class F 도허티 전력 증폭기

그림 3. 2-tone 시뮬레이션 결과
Fig. 3. Simulation result of 2-tone

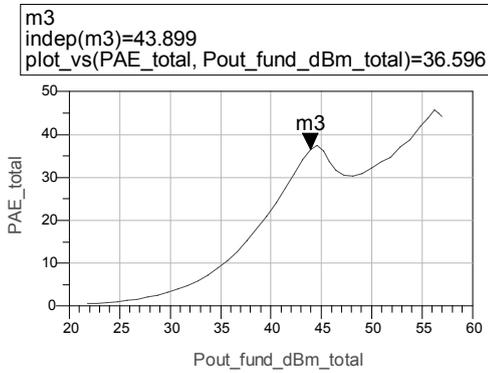
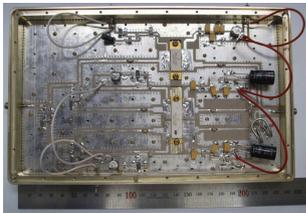


그림 4. 3-way class F 도허티 전력증폭기의 효율
Fig. 4. Efficiency of 3-way class F Doherty power amplifier

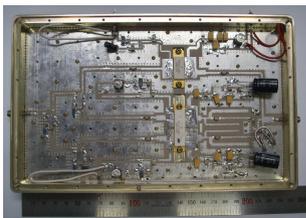
되는 것을 볼 수 있으며 3-way 도허티 전력 증폭기에 class F를 적용시켜도 선형성의 저하 없이 비슷한 수준에서 유지되는 것을 볼 수 있다. 그림 4를 통해 3-way class F 도허티 전력 증폭기의 효율 특성이 기존의 3-way 도허티 전력 증폭기에 비해 시뮬레이션 상에서 3%가량 개선되는 것을 확인하였다.

III. 제작 및 측정

그림 5는 설계 및 시뮬레이션 결과를 바탕으로 20 W급 3-way 도허티 전력 증폭기를 비유전율(ϵ_r) 3.5, 기판두께(h) 0.03", 동판두께(t) 0.0014"인 Taconic



(a) 3-way 도허티 전력 증폭기



(b) 3-way class F 도허티 전력 증폭기

그림 5. 도허티 전력 증폭기의 실물사진
Fig. 5. Real photograph of Doherty power amplifier

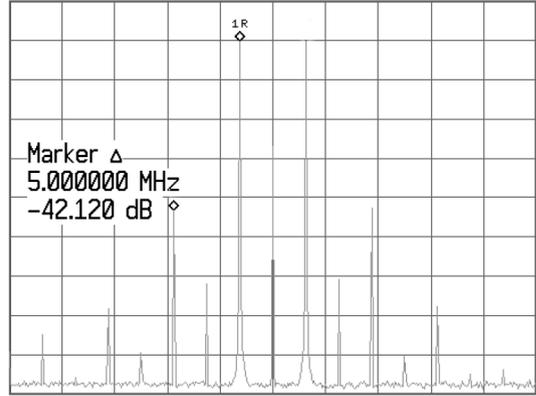


그림 6. 3-way class F 도허티 전력증폭기의 2-tone 측정결과
Fig. 6. Measured result of 3-way class F Doherty power amplifier at 2-tone input

표 1. 2-tone 실험 결과

구 분	2-way	3-way	3-way class F
선형성(dBc)	-27.43	-43.23	-42.12

사의 RF-35 기판에 제작한 사진이다.

제작된 전력 증폭기에 2137.5 MHz와 2142.5 MHz의 2-tone 주파수를 인가하여 출력전력 20 W에서 측정된 결과 2-way에 비해 3-way 구조의 도허티 전력증폭기의 선형성이 약 15.7 dBc 개선된 것을 볼 수 있었다. 또한 3-way 구조에 class F를 적용하였을 때에도 선형성의 저하 없이 비슷한 수준의 특성을 보였다. 그림 6에서 측정결과를 보이며 표 1에 정리하였다.

MCPA(Multi-Carrier Powre Amplifier)는 광대역에서 다수 반송파 신호를 동시에 증폭해야 하므로 4FA와 같은 광대역 ACLR 성능 테스트가 중요하다. W-CDMA 4FA 신호는 20 MHz (5 MHz / 1 FA \times 4)의 대역폭을 갖는다. 그림 7은 20 W 출력에서 측정된 3-way class F 도허티 전력 증폭기의 ACLR 특성이다. 오프셋 주파수 5 MHz에서 -41.17 dBc의 ACLR 특성을 얻었다. 이 결과는 class F를 적용하기 전의 특성과 거의 비슷한 특성을 갖는다. 2-way 도허티 전력 증폭기와 비교시 약 9.6 dBc 가량 개선된 특성이며 피킹 증폭기의 바이어스를 조절함으로써 얻을 수 있었다. 그림 8은 W-CDMA 4FA 신호 입력 시 효율 특성을 비교한 것으로 2-way 도허티 전력증폭기가 3-way 도허티 전력증폭기보다 약 2%정도 높은 효율 특성을 갖는다. 3-way 도허티 전력증폭기는 앞서 설명한 바와 같이 효율보다는 선형성 개선에 중점을 두었기 때문에 2-way 도허티

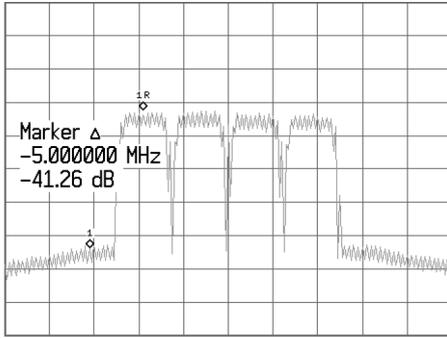


그림 7. 3-way 도허티 전력증폭기의 20 W에서 4FA ACLR 특성
Fig. 7. 4FA ACLR characteristics for 3-way Doherty power amplifier at output power of 20W

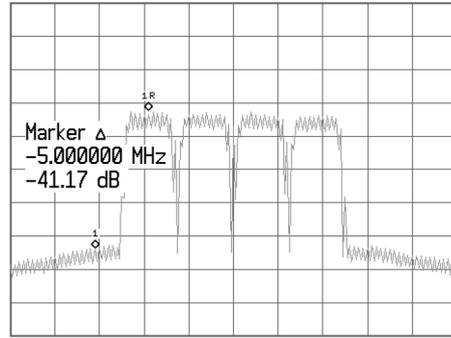


그림 9. 3-way class F도허티 전력증폭기의 출력전력 20W에서 4FA ACLR 특성
Fig. 9. 4FA ACLR characteristics for 3-way class F Doherty power amplifier at output power of 20W

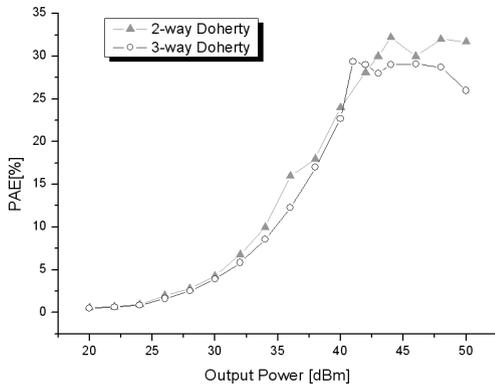


그림 8. 2-way 도허티 전력증폭기 와 3-way 도허티 전력증폭기의 출력전력에 따른 효율 비교
Fig. 8. Comparison of efficiency for the output power of 2-way Doherty power amplifier and 3-way Doherty power amplifier

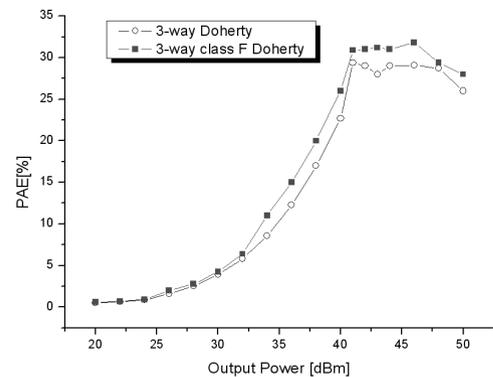


그림 10. 3-way 도허티 전력증폭기 와 3-way class F 도허티 전력증폭기의 출력전력에 따른 효율 비교
Fig. 10. Comparison of efficiency for the output power of 3-way Doherty power amplifier and 3-way class F Doherty power amplifier

전력증폭기보다 효율은 약 2% 정도 떨어지지만 선형성은 7.9 dBc 개선되었다.

그림 9는 출력전력 20W에서 측정된 3-way class F 도허티 전력증폭기의 ACLR 특성이다. 오프셋 주파수 5 MHz에서 -41.17 dBc의 ACLR 특성을 얻었다. 이 결과는 일반 3-way 도허티 전력증폭기와 비슷한 ACLR 특성이며, 그림 10을 통해 효율 특성을 비교한 결과 3-way class F 도허티 전력증폭기가 3-way 도허티 전력증폭기 보다 약 3.2% 높은 효율 특성을 갖는다. 또한 ACLR 특성도 2 dBc 정도 개선이 되었다.

실험결과 3-way 도허티 전력 증폭기로 구성을 하여 피킹 증폭기의 바이어스를 조절함으로써 2-way 도허티 전력증폭기보다 선형성을 개선할 수 있다는 것을 확인할 수 있다. 또한 선형성과 trade-off

관계에 있는 효율특성이 저하되는 것을 3-way 도허티 전력증폭기에 class F급 증폭기를 결합시키고 피킹 증폭기의 바이어스를 적절히 조절함으로써 저하된 효율을 개선시킬 수 있다는 것을 알 수 있다.

IV. 결론

본 논문에서는 W-CDMA용 20W 전력증폭기의 선형성과 효율 개선을 위한 도허티 기술을 연구하여 고효율과 높은 선형성을 갖는 3-way class F 도허티 전력증폭기를 설계 및 제작하였다. 전력증폭기는 제안된 3-way와 F급 바이어스로 설계 및 제작하여 최대 출력전력의 6-dB 백-오프 된 지점에서 최대 31.2%의 효율 특성을 나타내었으며, 오프셋 주파수 5 MHz에서 41.17 dBc의 ACLR 특성을 얻

었다. 3-way class F 도허티 전력증폭기는 기저국 전력증폭기에 비해 power handling이 적고 좀 덜 엄격한 선형성이 요구되는 중계기용 전력증폭기에 좋은 대안이 될 것이라 생각된다.

참 고 문 헌

[1] J. H. Do, W. T. Kang, J. S. Jang, U. S. Hong, "W-CDMA High Power Amplifier using Anti-Phase Intermodulation Distortion Linearization Technology," *Asia-Pacific Micro -wave Conference*, 2007.

[2] Grebennikov, A. V., "Switched-mode tuned high-efficiency power amplifiers: historical

aspect and future prospect," *IEEE RFIC Symp.* pp.49-52, 2-4 June, 2002.

[3] Y. G. Yang, J. H. Cha, B. J. Shin, B. M. Kim, "A Fully Matched N-way Doherty Amplifier With Optimized Linearity," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 51, No. 3, pp. 986-992, Mar., 2003.

[4] S. C. Cripps, *RF Power Amplifier for Wireless Communications*, Norwood, MA: Artech House, 1999.

이 기 학 (Ki-Hak Lee)

정회원

한국통신학회논문지제31권 8T호참조