

논문 2006-43TC-2-13

Hybrid Coupler 제거와 부하 최적화를 이용한 고효율 및 고선형성 전력 증폭기의 관한 연구

(Realization of High Linear and Efficiency Power Amplifier Using Optimum Load Without Hybrid Coupler)

안 세 환*, 서 철 현**

(Sehwan An and Chulhun Seo)

요 약

본 논문은 일반적인 Doherty amplifier보다 더 작은 부하저항을 갖도록 설계하였으며 출력 정합 회로에 PBG구조를 적용하여 IMD (Inter-modulation Distortion)를 억제 시키고 PAE (Power Added Efficiency)를 향상시켰다. 본 논문에서 제안된 전력 증폭기는 기존의 Doherty 전력 증폭기를 기준으로 IMD3는 5.5 dBc, PAE는 5%, 최대 출력 전력은 8dB back-off point에서 18%의 성능 개선을 시켰다.

Abstract

In this paper, smaller load has been used compared with the conventional Doherty amplifier and PBG structure have been employed to suppress IMD (Inter-modulation Distortion) and improve PAE (Power Added Efficiency). And The PBG structure has been employed on the output matching network of Doherty amplifier. The proposed power amplifier has been improved more the IMD3 by 5.5 dBc, and the average PAE by 5 %, at peak output power, 18% at 8dB back-off point, respectively than the conventional Doherty power amplifier.

Keywords : PBG, Doherty power amplifier, Load-Pull, 부하 최적화

I. 서 론

최근 몇 년간 CDMA와 같은 이동통신 시스템의 급격한 보급에 의해 무선통신 고출력 증폭기의 중요성이 새로이 부각되고 있으며 앞으로도 새로운 이동통신 환경에 적합한 고출력, 고효율을 가지는 전력증폭기가 급격히 보급되리라 예상된다. 따라서 이러한 요구에 부응하기 위해 차세대 무선통신 환경에 적합한 새로운 고출력, 고효율 전력증폭기 연구가 요구되고 있다. Doherty amplifier는 이런 고효율 고출력을 얻을 수 있는 전력증

폭기 중 대표적인 방법중 하나이다.

Doherty amplifier와 class A 전력 증폭기를 비교했을 때 낮은 출력 전력에서 소모하는 DC전류는 절반이하가 되므로 WLAN 시스템에서 또한 적절한 선택이라 할 수 있다. 그러나 Doherty amplifier 상대적으로 복잡한 구조에 따른 큰 면적 차지와 특유의 동작 방식에 기인한 선형성의 문제에 있다.

본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 hybrid coupler를 제거하여 크기 면에서 큰 이득을 얻었으며 선형성을 확보하기 위해 PBG 구조를 Doherty 증폭기의 출력정합회로에 구현함으로서 무선통신 고출력 증폭기의 전력효율 및 비선형 특성 문제를 동시에 해결할 수 있었다. 또한 기존의 Doherty amplifier에서 이용하던

* 학생회원, ** 정회원, 숭실대학교 정보통신공학부
(School of Electronic Engineering Soongsil Univ.)
접수일자 : 2005년12월29일, 수정완료일 : 2006년2월15일

R/2의 load 저항을 R/4의 load를 사용함으로서 기존의 Doherty amplifier의 최대효율을 가지는 출력을 약 7~8dB back-off 시켜 낮은 출력 전력에서도 고효율을 얻을 수 있었다.

II. Doherty 전력증폭기 구조

2.1 고효율을 위한 Doherty 전력 증폭기 구조

일반적인 Doherty amplifier는 그림 1과 같이 Load를 R/2를 사용하는 것이 보통이다. 따라서 높은 입력전력이 인가되면 carrier amp와 peaking amp의 load는 동일한 R을 가지는 amp로 동작하게 된다.

따라서 carrier amp와 peaking amp가 동시에 동작할 만한 입력신호가 인가되면 carrier amp에 흐르는 최대 전류의 절반의 크기를 가지는 전류가 carrier amp와 peaking amp에 흐리게 되고 이는 이론상 최대 전력점으로부터 약 6dB back-off 지점에서 최대 효율을 나타나게 된다.

본 논문에서는 좀 더 낮은 입력 전력에서도 높은 효율을 가질 수 있게 load를 R/4로 설계를 하게 되면 입력이 낮을 때는 carrier amp의 load는 4R로 보이게되고 입력 전력이 높을 때는 carrier amp의 load는 R, peaking amp의 load는 R/3로 동작하게 된다. 이는 최대 전력점보다 약 12dB back-off 지점에서 최대 효율을 가지게 된다.

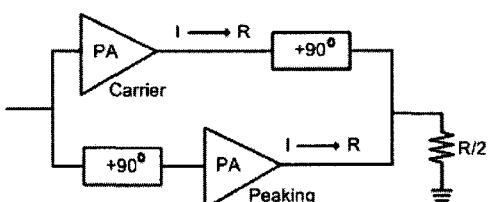


그림 1. 일반적인 Doherty amp 구조
Fig. 1. Conventional Doherty amplifier.

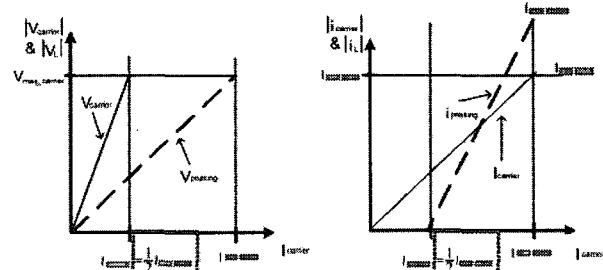


그림 2. 일반적 Doherty 구조의 전압 전류 특성
Fig. 2. V and I characteristics of typical configuration.

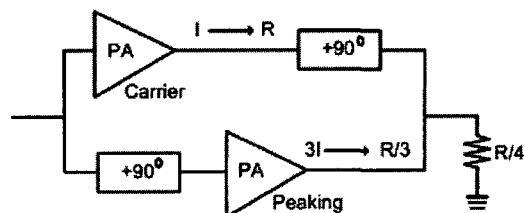


그림 3. 고효율을 위한 Doherty amp 구조
Fig. 3. Doherty amplifier for high efficiency.

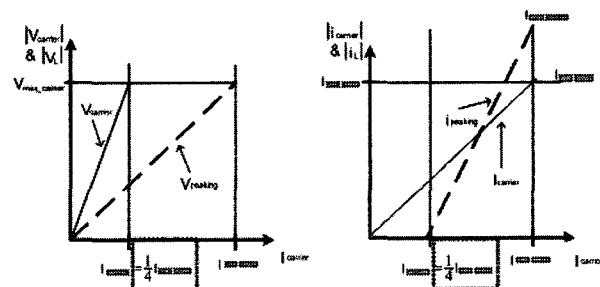


그림 4. 제안된 구조의 전압 전류 특성
Fig. 4. V and I characteristics of proposal configuration.

2.2 Doherty amplifier without hybrid coupler

일반적인 Doherty amp 구조에서는 90° 전송선로 또는 90° hybrid coupler를 사용한다. 하지만 이것은 amp의 전체적 크기에 상당한 영향을 미치게 된다. 본 논문에서 제안된 구조는 coupler를 사용하지 않으므로 크기 면에서 상당한 이득을 얻을 수 있었다.

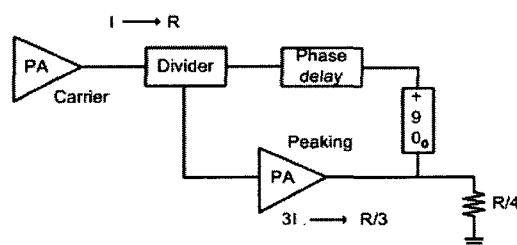


그림 5. Hybrid coupler를 제거한 Doherty amp 구조
Fig. 5. Doherty amplifier without hybrid coupler.

Carrier amp의 출력과 peaking amp의 입력사이에 알맞은 전력분배를 위해 Divide를 사용하였고 carrier amp의 대부분의 전력은 90° 전송선로로 나가므로 Doherty amp의 가장 특징인 load modulation을 하는 carrier amp인 동시에 peaking amp를 동작시키는 Drive amp의 역할도 한다.

다른 경로로 인해 위상 차이가 발생한다. 따라서 이 위상 차이를 보상하기 위한 delay line이 필요하게 되고 위상 차이를 보상하기 위한 90° 전송선로와 Carrier amp 사이에 위치하게 된다.

III. PBG 구조를 이용한 고효율 및 고선형성 Doherty 전력증폭기 구현

3.1 PBG 이론 및 설계

PBG 구조는 Bragg 격자 원리로부터 2Λ 에 해당하는 주파수를 중심으로 저지대역이 형성되는 것을 예상할 수 있다. 이러한 PBG 구조의 원리를 이용하여 원하는 부분에서의 저지대역 형성할 수 있다. 격자의 주기 Λ 는

$$\Lambda = \lambda_g / 2 \quad (1)$$

여기서 λ_g 는 마이크로스트립 라인 구조에서 유기되는 전파의 파장으로 다음과 같이 유효 유전률과 원하는 저지대역의 중심주파수에 의해 구해진다.

$$\lambda_g(f) = \frac{v_p(f)}{f} = \frac{c}{\sqrt{\mu_r \epsilon_{r,eff}(f)}} \quad (2)$$

여기서 f 는 원하는 저지대역의 중심 주파수를 $\epsilon_{r,eff}(f)$ 는 마이크로스트립 구조에서 저지대역의 중심 주파수가 갖는 유효 굴절률을 말한다.

PBG 설계를 위하여 시뮬레이션 툴로 Ansoft사의 HFSS 8.0를 사용하였으며, 유전율 3.2를 갖는 테프론 기판을 사용하여 제작하였다.

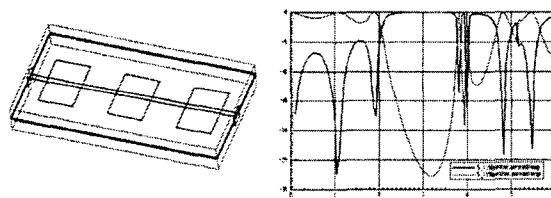


그림 6. HFSS를 이용한 PBG 모양과 S-parameter 특성
Fig. 6. PBG structure using HFSS and characteristic of S-parameter.

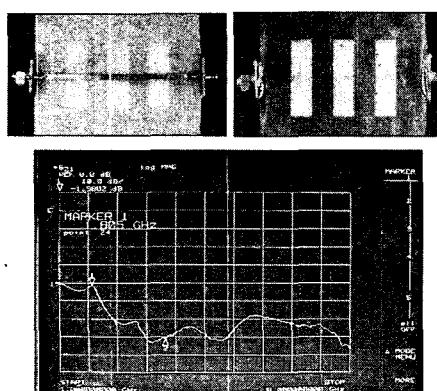


그림 7. 실제 제작한 PBG 모양과 측정
Fig. 7. Manufacture of PBG measurement.

중심 주파수인 1.8GHz에서의 신호의 감쇠가 최소가 되도록 설계하여 $S21 = -0.377$ dB, 2차 고조파 대역인 3.6GHz에서는 $S21 = -28.2$ dB가 되도록 만들어서 고조파 성분의 감쇠가 많이 되도록 만들었다.

3.2 PBG를 이용한 Doherty amplifier 설계

전력 증폭기용 소자로는 Motorola사 MRF 281 ZR1의 1.8GHz대역의 트랜지스터를 사용하였고, 전력증폭기 설계를 위하여 ADS2003A 시뮬레이션 툴을 사용하였다.

1.8GHz 전력 증폭기 설계는 최대 출력을 얻기 위해서 Load-Pull 정합기법을 사용하여 최대 선형구간을 시뮬레이션하여 설계하였다.

Carrier amp는 Class AB이며 1.8GHz 중심 주파수에서 $Vds = 26$ V, $Ids = 250$ mA의 동작점으로 설계하였고 Peaking amp는 Class C급으로 시뮬레이션 및 설계를 하였다.

차세대 이동통신 시스템의 획기적인 연구를 위하여 새로운 개념의 고출력 증폭기 연구의 필요성이 증대하고 있으며 전 세계적으로 무선통신 환경에서 고출력 증폭기의 연구가 경쟁적으로 진행되고 있다. 이러한 고출력 전력증폭기 개발을 위해 여러 가지 가능성이 제안되었으나 그 중 PBG를 이용한 Doherty 증폭기가 알맞은 구조이다. [그림 8]은 각 증폭기에 PBG를 적용한 것으로 PBG를 사용함으로써 기존의 Doherty 증폭기가 갖고 있는 선형성 문제를 해결하는 것이다. 전력증폭기

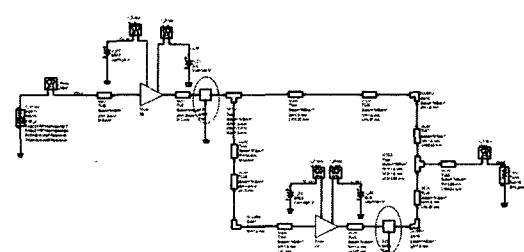


그림 8. PBG적용한 Doherty 증폭기 설계
Fig. 8. proposal Power amplifier With PBG.

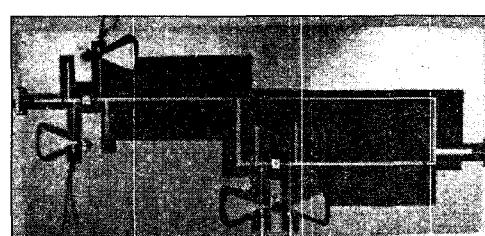


그림 9. PBG적용한 Doherty 증폭기 제작
Fig. 9. Fabrication of proposed Power amplifier With PBG.

Load-pull 정합점을 찾아 출력정합회로를 구현할 때, PBG를 포함하여 출력정합회로를 구현한 것이다. 이와 같은 방식으로 PBG를 적용하여 최종적인 PBG를 적용한 Doherty 증폭기를 설계하였다.

제안된 구조와 비교를 하기 위해 1.8GHz 일반적인 Doherty 증폭기, PBG를 이용한 Doherty 증폭기를 설계하여 측정하였다.

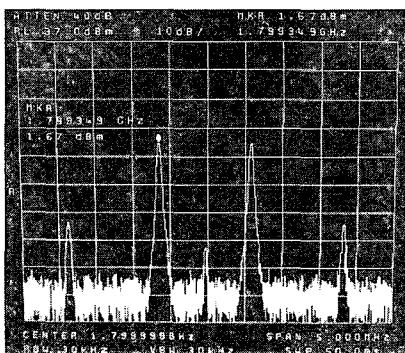


그림 10. Doherty 증폭기의 출력 전력 측정

Fig. 10. Measurement of output power in Doherty Power amplifier without PBG.

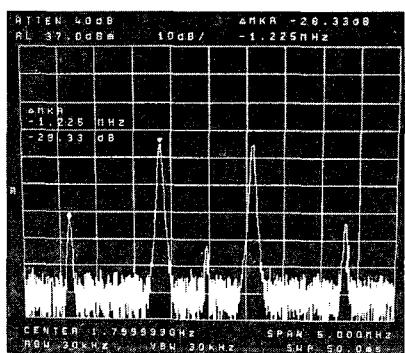


그림 11. Doherty 증폭기의 IMD3 측정

Fig. 11. Measurement of IMD3 in Doherty Power amplifier without PBG.

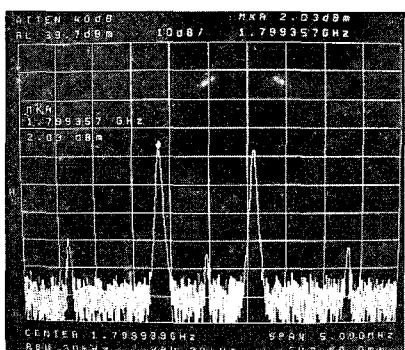


그림 12. PBG적용한 Doherty 증폭기의 출력 전력 측정

Fig. 12. Measurement of output power in Doherty amplifier With PBG.

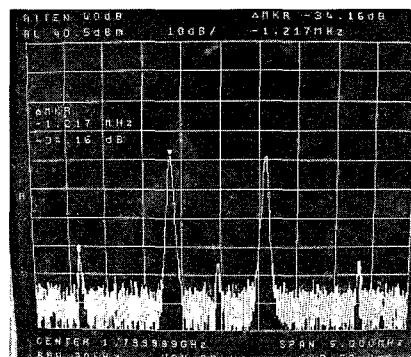


그림 13. PBG적용한 Doherty 증폭기의 IMD3 측정

Fig. 13. Measurement of IMD3 in Doherty amplifier With PBG.

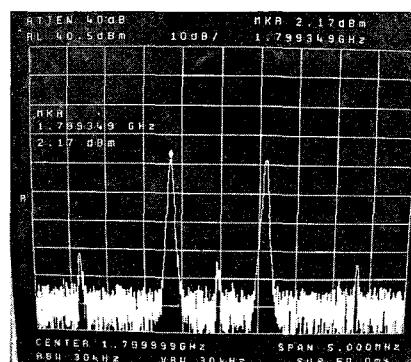


그림 14. 제안된 구조의 Doherty 증폭기의 출력 전력 측정

Fig. 14. Measurement of output power in proposed Doherty amplifier.

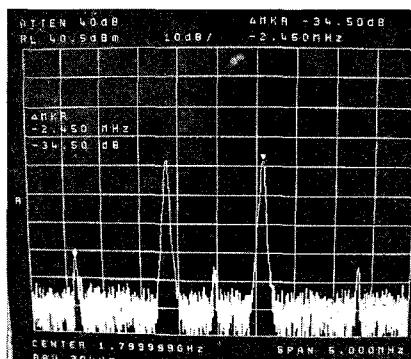


그림 15. 제안된 구조의 Doherty 증폭기의 IMD3 측정

Fig. 15. Measurement of IMD3 in proposed Power amplifier.

입력 신호를 1800.625 MHz 와 1799.325 MHz의 주파수인 2-톤으로 하고 IMD3(-30dBc) 기준으로 했을 때 Doherty 전력 증폭기는 [그림 10~11]과 같이 출력이 34.67dBm, IMD3가 -28.33dBc, 전력효율이 31.52%의 결과를 얻었으며 PBG를 이용한 Doherty 전력 증폭기는 [그림 12~13]과 같이 출력이 35.03dBm, IMD3가 -34.16dBc, 전력효율이 35.45%였고 최종 제안된 구조인

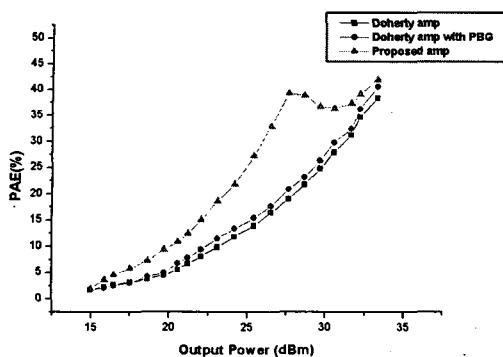


그림 16. 각 전력증폭기의 출력신호에 따른 PAE
Fig. 16. PAE of Power amplifier by output power.

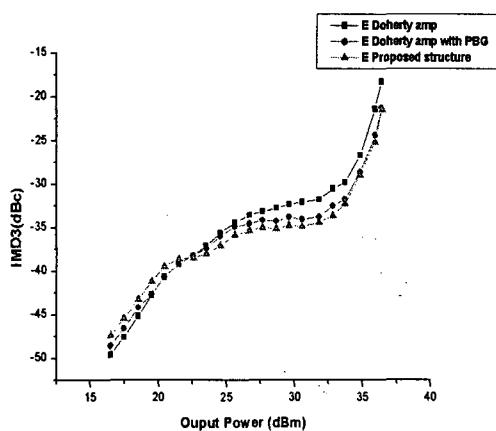


그림 17. 각 전력 증폭기의 출력신호에 따른 IMD3 추이
Fig. 17. IMD3 of Power amplifier by output power.

고선형 및 고효율 Doherty 증폭기는 [그림 14~15]와 같이 출력이 35.17dBm, IMD3가 34.55dBc, 전력효율이 35.88%를 얻었다.

[그림 16]에서와 같이 Doherty 전력 증폭기의 최대 전력점을 기준으로 하였을 때 PBG를 적용한 Doherty 전력 증폭기는 약 3%의 PAE 상승효과가 있었으며 본 연구에서 제안한 구조는 약 5%의 효율 상승을 효과를 얻을 수 있었으며 최대 파워에서 약 6dB back-off 지점에서도 최대효율인 36.3%를 얻을 수 있었다.

그리고 [그림 17]에서와 같이 IMD3 측면에서는 제안된 구조는 Doherty 전력증폭기보다 약 5dBc정도가 낮은 것을 볼 수 있다.

IV. 결 론

본 논문에서 제안한 구조로 Doherty 증폭기를 설계한 결과, 일반적인 Doherty 그리고 PBG구조를 이용한 Doherty 전력 증폭기보다 뛰어난 전력효율과 선형성을 가지는 것을 알 수 있었고 기존의 Doherty 전력증폭기를

기준으로 제안된 구조와 비교 했을 때 최대 출력신호 34dBm에서 전력효율은 5%, 최대 전력신호에서 8dB back-off 지점에서는 약 18%를 개선하였고 IMD3는 5.3dBc가 개선되었다.

참 고 문 헌

- [1] Steve C. Cripps "RF Power Amplifiers for Wireless Communications", Artech House, 1999.
- [2] Steve C. Cripps "Advanced Techniques in RF Power Amplifier Design", Artech House, 2002.
- [3] W. H. Doherty, "A New High Efficiency Power Amplifier for Modulated Waves." Proc. of the IRE, vol. 24, no. 9, pp. 1163-1182, 1936.
- [4] Upton, David M., Maloney, Peter R and et al, "A Microwave Doherty Amplifier," Applied Microwaves and RF, Winter 1994.
- [5] F.H.Raab, "Efficiency of Doherty RF power amplifier systems." IEEE transactions on Broadcasting, vol. BC-33, no. 3, September 1987.
- [6] 정형태, 김성욱, 장익수, "발룬을 이용한 푸쉬풀 구조의 도히터 증폭기 설계" 대한전자공학회 논문지 제41권 TC, 제4호, pp. 247-253, 2004년 4월.
- [7] V. Radisic, Y. Qian, R. Coccioiland and T. Itoh, "Novel 2-D Photonic Bandgap Structure for Microstrip Lines," IEEE Microwave Guided Wave Lett., vol. 8, no. 2, pp. 69-71, 1998.
- [8] I. Rumsey, P. M. Melinda and P. K. Kelly, "Photonic Bandgap Structures Used as Filters in Microstrip Circuits," IEEE Microwave Guided Wave Lett., vol. 8, pp. 336-338, 1998.
- [9] V. Radisic, Y. Qian and T. Itoh, "Broadband power amplifier using dielectric photonic bandgap structure," IEEE Microwave Guided Wave Lett., vol. 8, pp. 13-14, 1998.
- [10] Taesun Kim, and Chulhun Seo, "A Novel Photonic Bandgap Structure for Lowpass Filter of Wide Stopband," IEEE Microwave Guided wave Lett., January, 2000.
- [11] M. P. Kesler, J. G. Maloney, and B. L. Shirley, "Antenna design with the use of photonic bandgap materials as all dielectric planar reflectors," Microwave Opt. Tech. Lett., vol. 11, nl. 4, pp. 169-174, 1996

저 자 소 개



안 세 환(학생회원)
2004년 숭실대학교 정보통신전자
공학부 졸업.(공학사)
2004년 3월 ~ 숭실대학교 정보통
신공학과 석사과정

서 철 현(정회원)
대한전자공학회논문지 vol. 31, no. 6 참조

<주관심분야: RF Front_End System 및 소자>