

논문 2009-46TC-1-14

광대역 특성의 LPF를 이용한 도허티 증폭기의 전력 효율 향상에 관한 연구

(Research on PAE of Doherty Amplifier with Low-pass Filter of Wide Stopband)

정 두 원*, 서 철 현**

(Duwon Jung and Chulhun Seo)

요 약

본 논문에서는 PBG 특성을 갖는 새로운 Low-pass Filter (LPF)를 증폭기의 출력정합단에 적용하여 도허티 증폭기의 효율을 향상하였다. 제안된 LPF 적용된 도허티 증폭기는 고조파 성분들이 저지됨으로 선형성은 그대로 유지하면서 출력 전력의 증가와 소비 전류의 감소로 일반적인 도허티 증폭기와 비교하여 35 %의 효율을 증가시켰다. 또한 PBG 특성을 사용함으로써 LPF의 크기를 줄였다. 이를 통해 일반적인 마이크로 스트립 라인의 LPF를 사용한 도허티 증폭기보다 전체적인 도허티 증폭기의 크기를 줄일 수 있었다.

Abstract

In this paper, the power added efficiency (PAE) of a Doherty amplifier has been improved by applying Photonic Bandgap (PBG) characteristics on the output of amplifier. As a result of the high order harmonics termination, excellent improvement in PAE, maximum output power as well as linearity is obtained. The PAE is improved as much as relatively 35% compared with a conventional Doherty amplifier. Moreover, size of LPF is reduced by PBG characteristics. Therefore the whole amplifier circuit size is considerably reduced by diminishing in size of the LPF as compared with a Doherty amplifier using conventional LPFs.

Keywords: Doherty amplifier, Power added efficiency, Low-pass filter, Photonic bandgap

I. 서 론

도허티 증폭기는 전력부가효율(Power Added Efficiency: PAE)를 향상시키는 가장 잘 알려진 방법 중 하나이고 부가적인 회로 없이 간단하게 구현 할 수 있기 때문에 널리 연구되어 왔다. 일반적으로 Doherty 증폭기는 임피던스 인버터와 입력 전력에 따라 동작이

제어되는 보조 증폭기로 이루어진다. 즉 Doherty 증폭기는 전력증폭기 낮은 입력에서의 낮은 전력효율 측면을 보완하기 위해 각기 다른 클래스의 두 증폭기를 사용하여 출력 부하를 변화시키는 부하 변조기술을 사용한다^[1].

일반적인 도허티 증폭기의 최적화된 출력 load-pull 동작의 설계 방법은 이상적인 상황에서 고조파 하모닉이 없다고 가정한다. 그러므로 PAE는 기본주파수만 고려된다. 도허티 증폭기의 보조 증폭기는 비선형적인 특성을 갖는 B급 또는 C급 증폭기를 사용한다. 이러한 증폭기의 사용으로 인해 많은 고조파 및 IMD가 발생한다. 고조파 제어를 통해 PAE 및 선형성의 개선을 고려할 수 있다^[2-3].

* 학생회원, ** 정회원, 숭실대학교 정보통신전자공학부 (Information and Telecommunication Engineering, Soongsil University)

※ 이 연구는 2008학년도 숭실대학교 대학 연구비의 지원으로 연구되었음.

접수일자: 2009년1월8일, 수정완료일: 2009년1월19일

본 논문에서는 새로운 구조의 LPF를 도허티 증폭기의 출력 정합회로에 구현함으로써 고주파에 의해 소비되는 소비 전류를 줄이고 도허티 증폭기의 PAE를 향상시킬 수 있었다.

II. PBG 특성을 갖는 LPF 설계

GHz 이상의 고주파에서는 분산소자를 사용하는 것은 정확한 주파수 제어와 완벽한 필터의 특성 얻는 것이 어렵다. 그러므로 전송선로를 이용한 필터를 일반적으로 사용한다.

1. 마이크로 스트립 라인을 이용한 일반적인 LPF

그림 1은 마이크로 스트립 라인을 이용한 일반적인 LPF이다. 이 구조는 2GHz 차단 주파수를 갖으며 8.9cm로 길며 전송선로가 갖는 주기적인 특성을 갖는다.

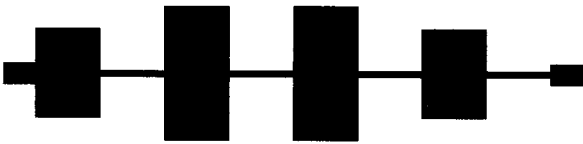


그림 1. 마이크로 스트립 라인을 이용한 일반적인 LPF
Fig. 1. Schematic of Conventional LPF structure using microstrip line.



그림 2. 마이크로 스트립 라인을 이용한 PBG 구조
Fig. 2. Schematic of a microstrip line on a PBG ground plane.

그림 3은 EM 시뮬레이션 프로그램인 HFSS를 이용한 시뮬레이션 결과를 보여주고 있다.

2. 저주파 통과 특성을 갖는 PBG

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 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\Lambda = \lambda_g / 2 \tag{1}$$

일반적으로 격자 주기 Λ 는 고정되고 W 는 증가할 때 저지대역은 저주파 대역으로 이동한다. 그러나 과도하게 W 를 증가시킬 경우 통과대역에서 리플과 삽입손실이 발생하게 된다^[4].

PBG의 밑면은 주기적인 사각형 모양인 단위셀이 주기적인 구조로 구성되어 있는 것을 그림 2에서 볼 수 있다. 이 PBG 구조는 1.8 GHz 통과대역에서 0.6 dB 삽입손실을 갖으며 2nd 주파수인 3.6 GHz에서 -30 dB의 저지 특성을 갖는다. 그러나 -30 dB 이하로 모든 고주파들을 제어하기는 어렵다.

3. PBG 특성을 갖는 LPF 설계

PBG 특성을 분석하여 이와 비슷한 특성을 나타내는 LPF를 설계하였다. 그림 4는 제안한 PBG 특성을 갖는 LPF를 보여주고 있다. 이 LPF는 4개의 서로 다른 특성을 갖는 단위 셀로 구성되어 있다^[5].

혼합 커플링은 마이크로 스트립 open-loop 공진기에서 논의 되어왔다. 전계와 자계 분포에 따라 중심주파수가 결정된다. 혼합결합에서는 중심주파수는 거의 변

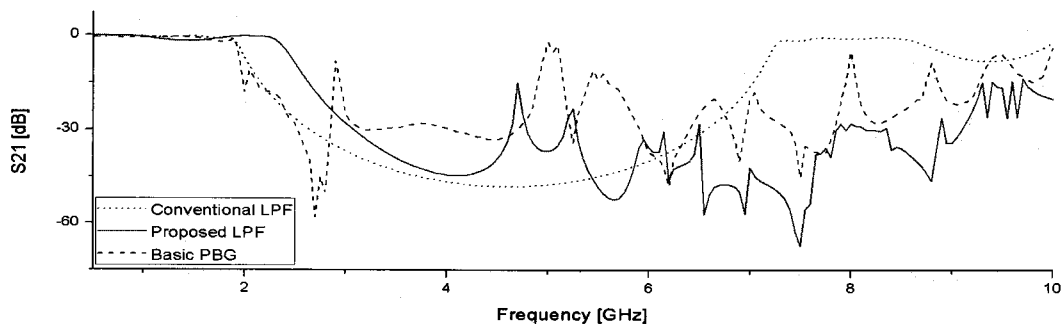


그림 3. 전송선로를 이용한 저역통과 필터의 시뮬레이션 결과
Fig. 3. Simulation result S-parameters of low pass transmission line.

화가 없이 여파기 사이의 거리를 조절함에 따라 커플링 계수를 다양하게 조절 할 수 있게 되고 삽입손실과 반사손실을 조절 할 수가 있게 된다^[6].

이와 같은 혼합결합의 예를 새롭게 제안한 LPF의 구부러진 라인에 적용하였다. 각각의 단위 셀의 구부러진 라인은 자계결합과 전계결합으로 작동하므로 구부러진 라인의 등가 인덕턴스와 커패시턴스는 일반적인 LPF보다 매우 크게 되고 낮은 주파수에서 작은 크기로 설계 할 수 있다.

구부러진 라인의 수를 증가시킴으로 혼합 커플링의 크기를 조절하여 서로 다른 고조파 주파수를 저지 할 수 있다. 이를 통해 제안된 LPF는 마이크로 스트립 라인이 갖는 주기적인 특성을 억제하고 광대역인 LPF를 만들 수 있다.

4. 제안한 LPF 제작과 측정

유전율 3.2인 Taconic TLC-32를 사용하여 그림 4의 구조대로 제안된 LPF를 제작하였다 (W = 0.2 mm, S = 5 mm, A = 1.2 mm, B = 0.8 mm). 그림 5는 제작된

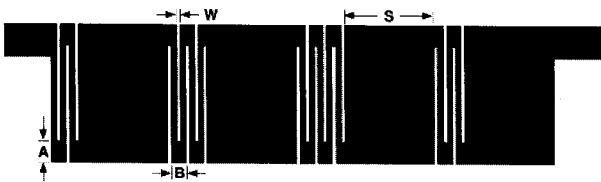


그림 4. PBG 특성을 적용시킨 제안된 LPF
Fig. 4. Proposed LPF using PBG characteristics.

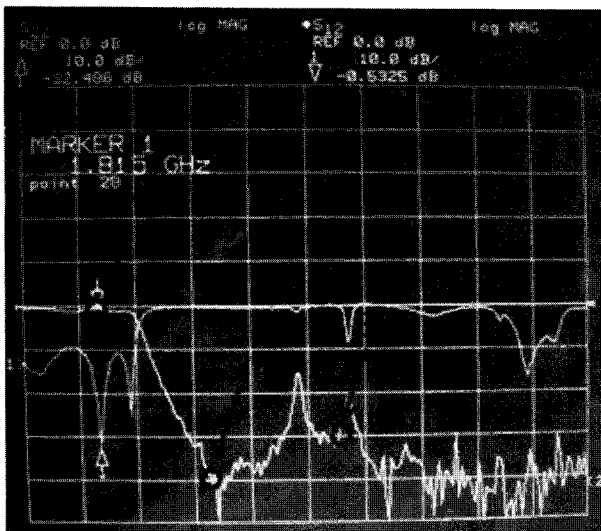


그림 5. 제안한 LPF의 S₂₁ 측정 결과
Fig. 5. Measurement S₂₁ of the proposed LPF.

LPF의 측정 결과를 보여주고 있다. 통과대역인 1.8 GHz에서 -0.5 dB의 삽입손실을, 2nd, 3rd 고조파 대역에서는 -40 dB, -30 dB의 저지 특성을 갖는다. 측정결과를 보면 2 GHz 차단 주파수를 갖고 그 이상에서는 광대역으로 저지하는 모습을 볼 수 있다.

제안된 LPF는 28.1 mm x 7.8 mm의 크기로 고조파를 억제하는 뛰어난 성능에도 불구하고 마이크로 스트립 라인을 이용한 일반적인 LPF 보다 70 % (28.1 mm / 89.7 mm) 이상 크기를 줄였다.

III. 제안한 LPF를 이용한 도허티 증폭기의 설계

그림 6은 제안한 LPF를 적용한 도허티 증폭기의 구조를 나타내고 있다. 제안한 LPF 구조를 적용한 도허티 증폭기의 성능 비교를 위해 일반적인 구조의 도티 증폭기도 함께 설계하였다. 4 W의 출력을 내는 LDMOS 소자인 Freescale 사의 MRF281SR1을 사용하였고 주 증폭기는 class AB, 보조 증폭기는 B급으로 동작하도록 설계하였다.

낮은 출력 영역에서는 보조 증폭기가 완전히 동작하지 않는다면 주 증폭기 offset line에서 바라보는 부하 저항은 $\lambda/4$ 변환기에 의해 $2R_0$ 가 된다. 하지만 이는 출력 정합단에서 보조 증폭기가 완전히 개방되어야 하지만 실제 그렇지 않기 때문에 offset line을 통하여 상당히 개선 할 수 있다. 주 증폭기와 보조 증폭기 출력단에 제안한 LPF가 연결되고 출력이 정합되는 곳에 위상을 같게 하기위해 offset line을 연결하였다^[7].

실제한 도허티 증폭기의 시뮬레이션 결과는 P_{1dB}에서 38.9 dBm의 출력과 54.2 % PAE을 얻을 수 있었다. 최대 출력 전력을 위해 Load-pull 방법을 통한 파워매칭

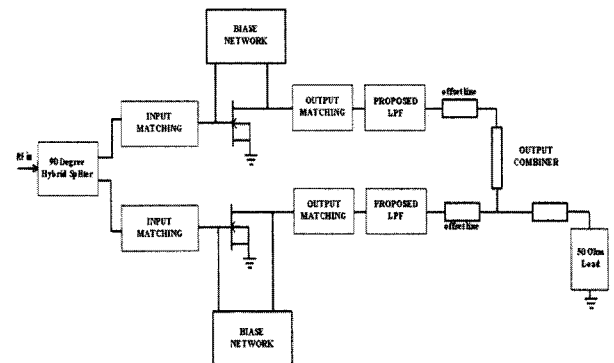


그림 6. 제안한 도허티 증폭기 구조
Fig. 6. Architecture of the proposed Doherty amplifier.

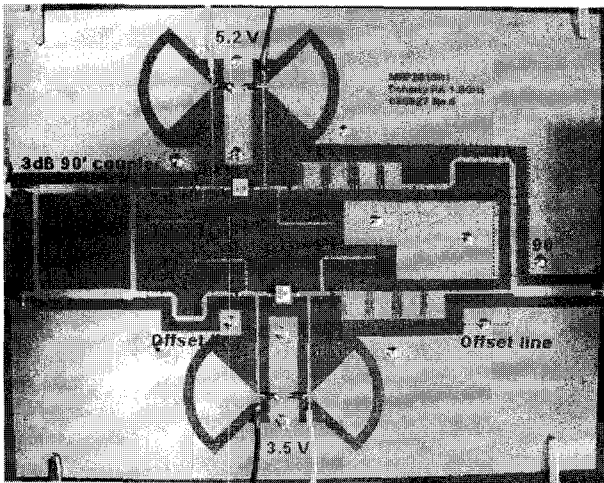


그림 7. LPF를 적용한 도허티 증폭기의 제작 모습
Fig. 7. Fabrication of the Doherty amplifier using LPF.

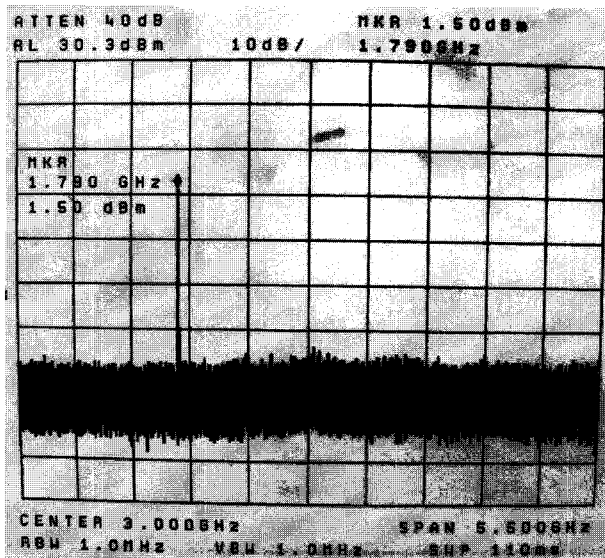


그림 8. 제안한 LPF를 적용한 도허티 증폭기의 출력 측정 결과
Fig. 8. Spectrum of output power of Doherty amplifier with proposed LPFs.

을 하였다.

그림 7은 제안한 LPF를 적용한 도허티 증폭기의 제작된 모습을 보여주고 있다. 그림 8과 그림 9에서는 제안한 LPF를 적용한 도허티 증폭기의 출력 스펙트럼과 일반적인 도허티 증폭기의 출력 스펙트럼을 볼 수 있다. 그림 8에서 LPF를 사용한 도허티 증폭기가 고조파를 출력 레벨보다 -50 dB 이하로 저지하는 것을 확인할 수 있다. 고조파를 제거함으로써 출력 전력을 개선하고 DC 소비 전력을 감소시켜 전체적으로 PAE를 향상 시킨 결과를 확인할 수 있다.

그림 10은 도허티 증폭기의 소비 전류와 PAE의 측

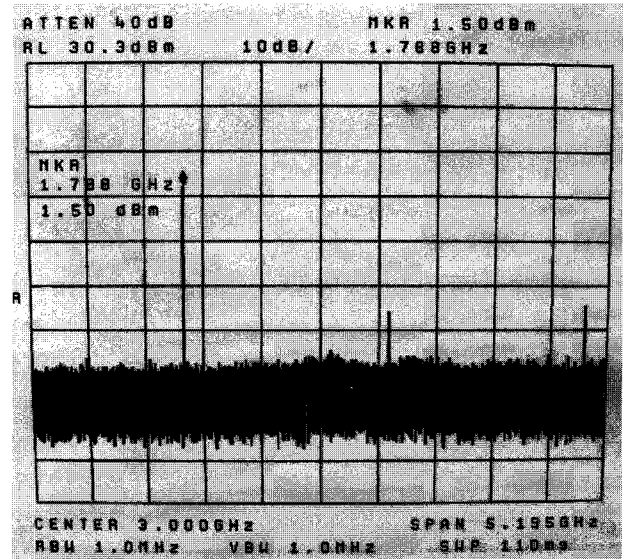


그림 9. LPF 없는 일반적인 도허티 증폭기의 측정 결과
Fig. 9. Spectrum of output power of Doherty amplifier without LPFs.

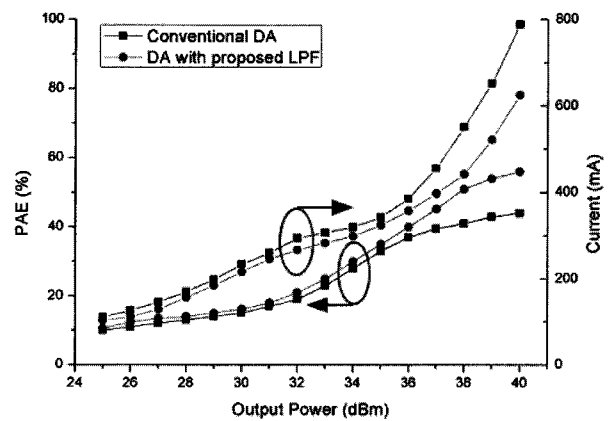


그림 10. DC 소비 전류와 PAE 측정 결과
Fig. 10. DC current and PAE improvement.

정 결과를 나타낸다. 제안한 도허티 증폭기의 소비전류가 일반적인 도허티 증폭기의 소비전류보다 P_{1dB} 에서 50 mA 낮은 것을 확인할 수 있다. 제안한 도허티 증폭기의 최대 효율은 P_{1dB} 에서 54.9 %로 일반적인 도허티 증폭기의 효율 39.6 %보다 15.3 % 높다. 같은 출력 레벨에서 제안된 도허티 증폭기와 일반적인 도허티 증폭기의 선형성을 비교하는 것은 최대 출력 파워가 다르기 때문에 적절하지 않지만 제안한 도허티 증폭기의 선형성이 약간 개선되었다(1.17 dBc)^[8].

IV. 결 론

본 논문에서 PBG 특성을 이용한 새로운 구조의 LPF

를 도허티 증폭기에 적용하였다. 새로운 LPF의 구부린 라인을 조절함으로써 혼합 커플링의 크기를 조절하여 전송선로를 이용한 LPF의 주기적인 특성을 억제하였고 광대역 저지 특성을 보이는 LPF를 설계 할 수 있었다. 또한 일반적인 전송선로를 이용한 LPF보다 뛰어난 성능에도 불구하고 크기를 줄여 시스템의 크기를 줄이는데 효과적이었다. 이를 도허티 증폭기의 출력 정합단에 적용하여 고조파를 억제하고 고조파에 해당하는 출력 전력을 줄여 소비 전류를 줄임으로 효율을 일반적인 도허티 증폭기 보다 35 % 이상 개선하였다.

참 고 문 헌

- [1] S. C. Cripps, RF Power Amplifier for Wireless Communications. Boston: Artech House, pp. 290 - 303, 2006.
- [2] M. Iwamoto, A. Williams, P.-F. Chen, A. G. Metzger, L. E. Larson, and P. M. Asbeck, "An extended Doherty amplifier with high efficiency over a wide power range," IEEE Trans. Microw. Theory Tech., vol. 49, no. 12, pp. 2472 - 2479, Dec. 2001.
- [3] Y. Jeong, S. Jeong, J. Lim, and S. Nam, "A new method to suppress harmonics using $\lambda/4$ bias line combined by defected ground structure in power amplifiers," IEEE Microw. Wireless Compon. Lett., vol. 13, no. 12, pp. 538 - 540, Dec. 2003.
- [4] J. D. Joannopoulos, R. D. Meade and J. N. Winn, "Photonic Crystals : Molding the Folow of Light," Photonic Crystals : Molding the Folow of Light, 1995
- [5] T. Kim, and C. Seo, "A Novel Photonic Bandgap Structure for LowpassFilter of Wide Stopband," IEEE Microw. Guided Wave Lett., vol. 10, No. 1, pp. 13-15, Jan. 2000.
- [6] B. Kim and Y. Kim. Nam, "Mixed Coupling Structure for the Cross Coupling of Comb-line Filters," Microw. and Opt. Tech. Lett., vol. 35, no. 1, pp. 20 - 23, Oct. 2002.
- [7] B. Kim and Y. Kim. Nam, "The Doherty Power Amplifier," IEEE Microw. Magazine, pp. 42 - 50, Oct. 2006.
- [8] H. Choi, J. Lim and Y. Jeong, "A New Design of Doherty Amplifiers Using Defected Ground Structure," IEEE Microw. Wireless Compon. Lett., vol. 16, no. 12, pp. 687 - 689, Dec. 2006.

저 자 소 개



정 두 원(학생회원)

2008년 2월 숭실대학교 정보통신
전자공학부 (공학사)

2008년 3월 ~ 현재 숭실대학교

정보통신공학과 석사과정

<주관심분야 : 초고주파 회로설
계, 전력증폭기 설계, RFIC>

서 철 현(정회원)

대한전자공학회 논문지
제31권 TC편 6호 참조