

논문 2008-45TC-9-8

Compact Slow-Wave Microstrip Branch-Line Coupler를 이용한 도허티 증폭기의 선형성 개선

(Doherty Amplifier Design Using a Compact Slow-Wave Microstrip
Branch-Line coupler for Linearity Improvement)

김 태 형*, 서 철 현**

(Taehyung Kim and Chulhun Seo)

요 약

본 논문에서는 도허티 전력증폭기의 입력과 출력 단에 PBG와 같은 특성을 보이는 새로운 구조의 커플러를 적용하여 높은 효율을 유지하면서 선형성을 개선하도록 하였다. 제안된 새로운 구조의 커플러는 일반적인 커플러 구조에 2차 고조파 성분을 저지하도록 내부에 주기적인 격자 셀을 삽입함으로써 큰 전파 상수 값을 가진다. 주기적인 격자 셀은 일반적인 대역저지 필터의 LC공진회로와 같은 성질을 나타내고, 높은 등가 커패시턴스 때문에, 커플러의 크기를 줄일 수 있다. 이러한 구조의 커플러는 일반적인 커플러에 비해 면적이 30% 정도 효과적으로 줄일 수 있을 뿐만 아니라 높은 2차 고조파 성분을 저지하는 특성을 나타낸다. 새로운 커플러 구조를 적용한 도허티 전력증폭기의 3차 혼변조 왜곡 (IMD₃)은 CDMA 응용에서 -31.16 dBc이다. 제안된 커플러 구조가 없는 도허티 전력증폭기와 비교했을 때, PAE는 유지하면서 IMD₃은 -6 dBc 개선되었다.

Abstract

In this paper, the linearity of Doherty amplifier has been improved by applying a compact slow-wave microstrip branch-line coupler on the output of Doherty amplifier. The proposed branch coupler has four microstrip high-low impedance resonant cells periodically placed inside the branch-line coupler to result in high slow-wave effect. The new coupler not only effectively reduces the occupied area to 30% of the conventional branch-line coupler at 1.8GHz, but also has high second harmonic suppression performance. We obtained the 3rd-order intermodulation distortion (IMD₃) of -31.16 dBc for CDMA applications with that of maintaining the constant power added efficiency (PAE). The IMD₃ performance is improved as much as -7 dBc compared with a Doherty amplifier.

Keywords : Doherty Amplifier, Compact Slow-Wave Microstrip Branch-Line Coupler, PBG, Linearity

I. 서 론

이동통신 시스템 기술의 발전에 따라 시스템에서 대부분의 전력을 소모하는 전력 증폭기의 효율이 중요시 되고 있다^[1]. 도허티 증폭기는 넓은 출력범위에서 고효율 특성을 얻기 위한 가장 대표적인 방법 중에 하나이

며, 부가적인 회로 없이 간단하게 구현할 수 있기 때문에 상용화를 위한 연구가 활발히 진행되어 왔다. 일반적으로 도허티 증폭기는 각기 다른 클래스의 두 증폭기를 사용하여 출력 부하를 변화시키는 부하 변조기술을 사용한다^[2-3]. 주 증폭기를 A급 또는 AB급으로 설계하면 보조 증폭기는 B급 또는 C급 증폭기를 사용한다. B급 또는 C급 증폭기의 경우 입력신호가 클 때 동작을 하게 되고, 전체적으로 보면 입력신호가 커지면 선형성 측면에 문제가 발생하게 된다. 즉, 효율 개선의 장점이 있는 반면 선형성 문제를 갖게 될 수 있다.

마이크로파 대역에서 PBG(Photonic Bandgap) 구조는 접지 평면에 식각된 주기적인 격자들을 통해서 전자

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

※ 이 연구는 2008학년도 송실대학교 대학 연구비의 지원으로 연구되었음

접수일자: 2008년7월22일, 수정완료일: 2008년9월17일

기적 전파에 대한 저지대역을 갖는 특성을 보인다. 이러한 형태의 PBG 구조는 전력증폭기의 출력 정합회로에서 파생되는 2차, 3차 고조파 성분들을 저지함으로써 전력증폭기의 선형성을 개선한다.

본 논문에서는 도허티 증폭기의 선형성을 개선하기 위해서 일반적인 branch-line coupler에 2차 고조파 성분을 저지하도록 주기적인 격자 셀을 삽입함으로써 큰 전파 상수 값(high slow-wave effect)을 가지는 커플러를 사용하였다. 또한, 이러한 구조의 커플러는 일반적인 branch-line coupler에 비해 면적이 30% 작기 때문에 도허티 증폭기의 크기를 줄일 뿐 아니라 2차 고조파 성분들을 저지하는 특성을 보이기 때문에 도허티 증폭기의 선형성을 향상시킬 수 있었다. 새로운 구조의 커플러를 사용하여 무선통신 고출력 증폭기의 전력효율 및 비선형 특성 문제를 해결할 수 있었다.

II. 본 론

1. PBG 이론 및 설계

PBG 구조는 Bragg 격자 원리로부터 격자주기의 2A에 해당하는 주파수를 중심으로 저지대역이 형성된다^[4-5]. 이러한 PBG 구조의 원리를 이용하여 원하는 부분에서의 저지대역을 형성할 수 있다. 격자의 주기 A는 아래와 같은 수식으로 표현할 수 있다.

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

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

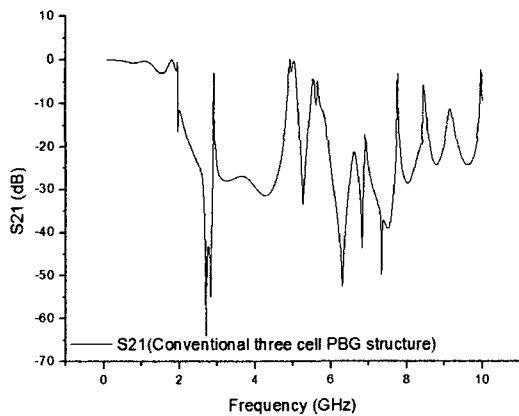


그림 1. PBG 구조의 S-파라미터 특성
Fig. 1. S-parameters characteristic of PBG structure.

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

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

PBG 설계를 위하여 Ansoft사의 HFSS 9.2를 사용하였으며, S-파라미터의 특성은 그림 1에 나타내고 있다.

2. 새로운 구조의 커플러 설계 및 제작

본 논문에서는 그림 2-(a)와 같은 새로운 구조의 커플러를 이용하였다^[6-8]. 일반적인 커플러 구조에 2차 고조파 성분을 저지하도록 내부에 주기적인 격자 셀을 삽입함으로써 큰 전파 상수 값(high slow-wave effect)을 가지는 커플러를 설계하였다. 주기적인 격자 셀은 일반적인 대역저지 필터의 LC공진회로와 같은 성질을 나타내고, 높은 등가 캐패시턴스 때문에, 커플러의 크기를 줄일 수 있다. 이러한 구조의 커플러는 일반적인 커플러

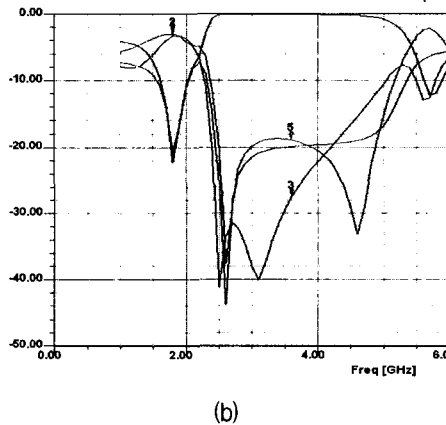
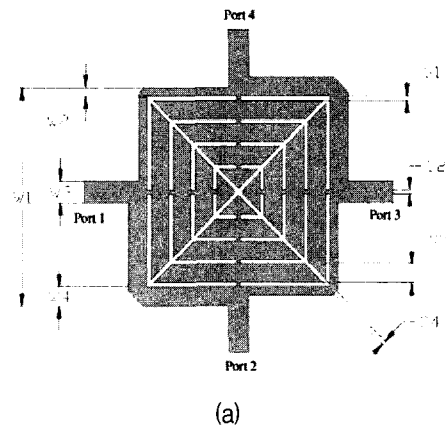


그림 2. (a) 새로운 구조의 microstrip branch-line coupler, (b) 시뮬레이션 결과 (S-파라미터)
Fig. 2. (a) Microstrip branch-line coupler of new structure, (b) Simulated results (S-parameters).

러에 비해 면적이 30% 정도 효과적으로 줄일 수 있을 뿐만 아니라 높은 2차 고조파 성분을 저지하는 특성을 나타낸다.

새로운 구조의 커플러의 특성을 확인하기 위해 Ansoft사의 HFSS 9.2를 이용하여 설계하였으며, 설계된 커플러 구조의 각각의 크기는 $W1=16.34$ mm, $W2=0.67$ mm, $W3=1.8$ mm, $W4=1.47$ mm, $S3=1.4$ mm, $S1=S2=S4=0.2$ mm이다. 그림 2-(b)는 새로운 구조의 커플러를 시뮬레이션 결과를 보여준다. 그림에서 보는 것처럼, 1.8 GHz에서 S_{21} 과 S_{31} 은 각각 3.02 dB와 3.28 dB 값을 가진다. 또한 3.6 GHz에서 S_{21} 과 S_{31} 이 각각 -18.81 dB와 -27.46 dB의 저지특성을 나타내는 것을 확인할 수 있다.

그림 3은 유전율 3.2, 두께 0.787 mm의 구조를 갖는 Taconic-TLC 기판을 사용하여 새로운 구조의 커플러를 제작해서 측정된 S-파라미터 결과를 보여준다. 그림에서 보는 것과 같이 1.8 GHz에서 S_{21} 과 S_{31} 은 각각 3.08 dB와 3.45 dB 값을 가진다. 또한 3.6 GHz에서 S_{21}

과 S_{31} 이 각각 -19.3 dB와 -30.2 dB의 저지특성을 나타내는 것을 확인할 수 있다. 즉, 그림 2-(b) 시뮬레이션 결과와 유사한 결과를 얻었다.

3. 도허티 증폭기의 설계 및 제작

새로운 Branch-line Coupler 구조를 적용한 도허티 증폭기의 성능 향상을 비교하기 위하여 그림 4의 일반

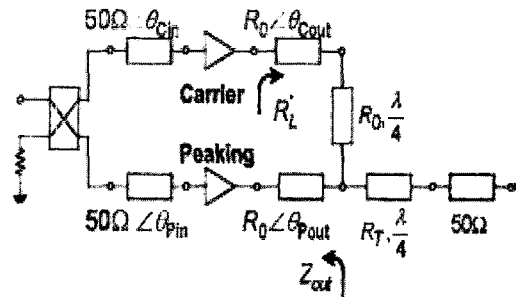
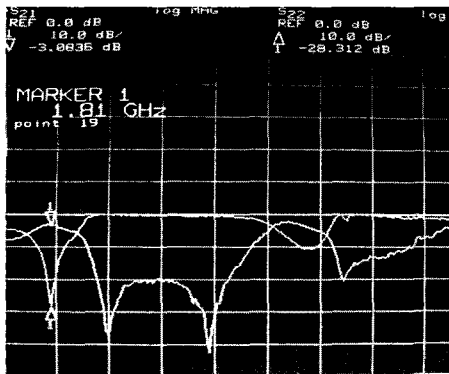
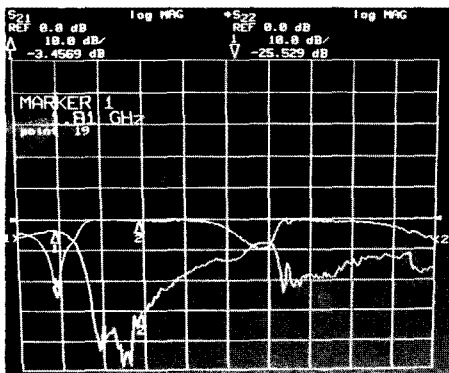


그림 4. 일반적인 도허티 증폭기의 구조
Fig. 4. Structure of conventional Doherty amplifier.

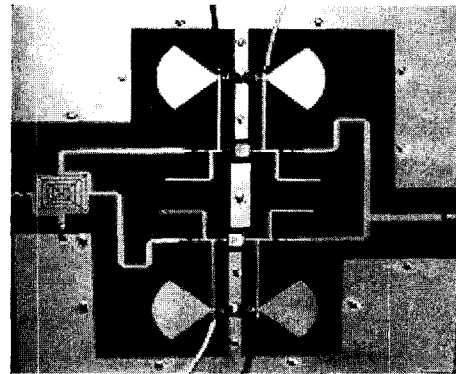


(a)

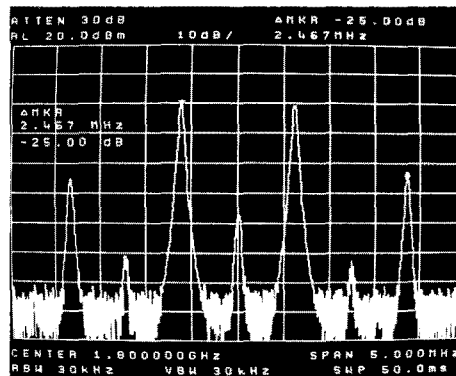


(b)

그림 3. 새로운 구조의 microstrip branch-line coupler (a) 측정결과 S_{21} , (b) 측정결과 S_{31}
Fig. 3. Microstrip branch-line coupler of new structure (a) Measured S_{21} result (b) Measured S_{31} result.

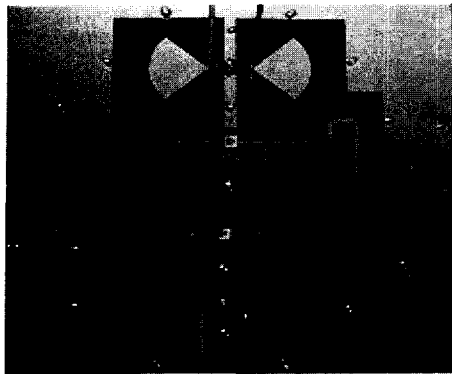


(a)

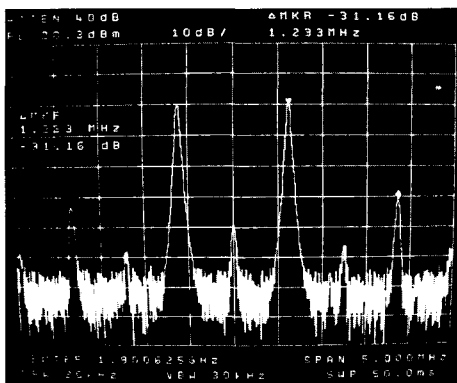


(b)

그림 5. (a) 새로운 커플러를 적용한 도허티 증폭기 (b) IMD3 측정치
Fig. 5. (a) Fabricated photograph of the Doherty amplifier using new coupler (b) Measured IMD3 results.



(a)



(b)

그림 6. (a) 출력단에 balanced 형태로 새로운 커플러를 적용한 도허티 증폭기 (b) IMD3 측정치

Fig. 6. (a) Doherty amplifier using new coupler from output matching stage (b) Measured IMD3 results.

적인 구조의 도허티 증폭기를 설계하였다. LDMOS 소자인 Motorola사의 MRF281SR1을 사용하였고, 주 증폭기의 전압은 5.2V, 보조 증폭기는 4V에서 동작하도록 설계하였다. 제작은 유전율 3.2, 두께 0.787 mm를 갖는 Taconic-TLC 기판을 사용하였다.

CDMA 대역(1.8GHz)에서 구현된 일반적인 도허티 증폭기는 P1dB점에서 37.8 dBm의 출력 전력, 11.8 dB의 전력 이득, 39%의 전력 효율, 그리고 -24.17 dBc의 IMD3를 갖는다.

그림 5-(a)는 일반적인 도허티 증폭기에 새로운 구조의 커플러를 적용한 회로를 보여준다. 그림 5-(b)는 IMD3 측정치를 나타내는데 일반적인 도허티 증폭기에 비해 IMD3가 -1 dBc 개선된 것을 보여준다. 그러나 예상했던 것보다 많은 향상을 보여주지 못했는데, 그 원인은 보통 PBG는 트랜지스터 뒷단에 사용하여 성능을 개선하는 방법인데 이 경우에는 트랜지스터 입력 단에서 2차 고조파 주파수를 저지하지만 트랜지스터의 비선

형성 때문에 2차 고조파 성분이 다시 생겨서 크게 향상되지 않은 것으로 생각된다. 그래서 그림 6-(a)와 같이 T-junction 대신에 새로운 구조의 커플러를 combiner 형태로 사용하여 회로를 설계하였다. 그 결과 그림 6-(b)에서 보는 것처럼 IMD3가 -7 dBc 개선되었다. 이 결과는 그림 6-(a)에서 새로운 구조의 커플러 대신에 일반적인 커플러를 입력 단과 출력 단에 Balanced 형태로 사용해서 설계한 경우에 비해서는 IMD3가 -3 dBc 정도 개선되었다. 새로운 구조의 커플러의 3.6 GHz의 2차 고조파 주파수에서의 저지 특성 때문에 도허티 증폭기의 선형성이 개선되었다.

III. 결 론

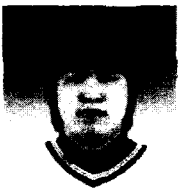
본 논문에서는 도허티 증폭기의 선형성을 개선하기 위해서 새로운 구조의 커플러를 적용하였다. 새로운 구조의 커플러의 경우 일반적인 커플러에 비해 면적이 30%정도 감소할 뿐만 아니라 2차 고조파 성분을 저지하는 특성을 갖는 것을 확인하였다. 새로운 구조의 커플러를 이용해서 도허티 증폭기를 설계한 결과 일반적인 커플러를 사용하는 경우에 비해 IMD3가 -1 dBc정도 개선되었다. 트랜지스터에서 증폭하는 과정에서 생기는 하모닉 성분 때문에 예상한 것보다 크게 개선이 되지 않았다. 그래서 도허티 증폭기의 출력 단에 T-junction 대신에 새로운 구조의 커플러를 combiner 형태로 사용하여 설계한 결과 IMD3가 -7 dBc정도 개선되는 것을 확인하였다. 2차 고조파 성분을 저지하는 특성을 보이는 새로운 구조의 커플러 때문에, 도허티 증폭기의 선형성이 개선되었다.

참 고 문 헌

- [1] W. H. Doherty, "A new high efficiency power amplifier for modulated waves," Proc. IRE, vol. 24, no. 9, pp. 1163-1182, Sep. 1936.
- [2] Yu Zhao, Andre G. Metzger, Peter J. Zampardi, Masaya Iwamoto, and Peter M. Asbeck, "Linearity Improvement of HBT-Based Doherty Power Amplifiers Based on a Simple Analytical Model", IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, VOL. 54, NO. 12, December 2006.
- [3] Y. Yang, J. Yi, Y. Y. Woo, and B. Kim, "Optimum Design for Linearity and Efficiency of Microwave Doherty Amplifier Using a New

- Load Matching Technique," *Microwave Journal*, vol. 44, no. 12, pp. 20-36, Dec. 2001
- [4] Taesun Kim and Chulhun Seo, "A Novel Photonic Bandgap Structure for Low-Pass Filter of Wide Stopband," *IEEE Microwave and Guided Wave Letters*, vol. 10, no. 1, pp. 13-15, January 2000.
- [5] Q. Xue, K. M. Shun, and C. H. Chan, "Novel 1-D Microstrip PBG Cells," *IEEE Microwave Guided Wave Lett.*, October, 2000.
- [6] S. S. Liao, P. T. Sun, N. C. Chin, and J. T. Peng, "A novel compact-sized branch-line coupler," *IEEE Microw. Wireless Compon. Lett.*, vol. 15, no. 9, pp. 588-590, Sep. 2005.
- [7] Jianpeng Wang, Bing-Zhong Wang, Yong-Xin Guo, L. C. Ong, Shaoqiu Xiao, "A Compact Slow-Wave Microstrip Branch-Line Coupler With High Performance," *IEEE Microw. Wireless Compon. Lett.*, vol. 17, no. 7, pp. 501-503, JULY, 2007.
- [8] K. O. Sun, S. J. Ho, C. C. Yen, and D. V. D. Weide, "A compact branch-line coupler using discontinuous microstrip lines," *IEEE Microw. Wireless Compon. Lett.*, vol. 15, no. 8, pp. 519-520, Aug. 2005.

 저 자 소 개



김 태 형(학생회원)
 2007년 2월 숭실대학교 정보통신
 전자공학부 (공학사)
 2007년 3월~현재 숭실대학교
 정보통신공학과 석사과정
 <주관심분야 : 초고주파 회로 설
 계, RF Power Amplifier, RFIC,
 Digital RF 등>

서 철 현(정회원)
 대한전자공학회 논문지
 제31권 TC편 6호 참조