

논문 2004-41TC-1-7

PBG 구조를 이용한 Ka Band 전력증폭기 성능개선에 관한 연구

(Improvement of Ka band Power Amplifier Employing Photonic Band Gap Structure)

서 철 현*

(Chulhun Seo)

요 약

본 논문에서는 밀리미터파 대역 전력증폭기가 출력단에 PBG (photonic bandgap structure) 구조를 설치함으로써 성능개선되었다. PBG 구조는 Ka 대역에서 저역통과 특성을 갖도록 최적화 되었다. 전력증폭기의 하모닉은 PBG 구조에 의하여 억제되었고 50 GHz에서 40dBc 개선되었다. 전력증폭기의 IMD와 PAE는 PBG에 의하여 기존의 전력증폭기에 비하여 각각 15%와 25% 개선되었다.

Abstract

The performances of millimeter wave power amplifier have been improved by using PBG (photonic bandgap structure) in this paper. The PBG structure has been optimized to obtain the lowpass characteristics in Ka band and employed at output port of Ka band power amplifier. The harmonics of the power amplifier have been suppressed by the PBG of output port and the proposed PBG has suppressed the second harmonic to 40dBc around 50 GHz. The improvements of IMD and PAE of the amplifier employing the PBG structure are obtained 15% and 25%, compared with those of the conventional Ka band power amplifier, respectively.

Keywords : PBG, Ka-band, 전력증폭기, IMD, PAE

I. 서 론

광전 밴드갭(Photonic Bandgap, PBG) 구조는 일, 이, 삼차원 배열의 홈과 같은 불연속 구간이 주기적으로 형성된 구조로 광학 분야에서 이러한 구조에 대한 응용 연구가 활발히 진행되어왔다^[1-2]. 이러한 구조는 광자들이 주기적인 격자에서 전자와 유사하게 동작하여 광전 밴드갭(PBG) 구조로 불려지고 있다. 이러한 PBG 구조는 주기적인 구조를 갖고 진행파의 일정 대역을 저지하

는 저지대역을 형성하는 특성을 갖는다^[3]. 이러한 원리는 광학 분야의 브래그 격자에 대한 연구로부터 비롯되었지만, PBG 이론은 마이크로파와 밀리미터파 대역을 포함한 광범위한 주파수 대역에서도 동일한 특성을 갖는다. PBG 구조는 금속, 유전체, 강자성체 또는 강유전체와 같은 격자로 구현될 수 있다. 유전체 PBG 구조는 마이크로스트립 회로에서 이용되어져 왔다^[3-5]. 이러한 유전체 PBG는 기판에 드릴 구멍을 뚫거나 접지 평면에 에칭을 하여 형성시킬 수 있다^[6].

이와 유사한 원리로 전자파에 대한 주기적 구조의 적용은 마이크로파 레이다에 대한 적용으로부터 마이크로파 및 밀리미터파 대역에서의 적용이 이루어져왔다. 그 예들로, 금속 도파관을 따라 일차원의 주기적인 슬롯은

* 정희원, 송실대학교 정보통신전자공학부

(School of Electronic Engineering Soongsil University)

※ 본 연구는 송실대학교 교내연구비 지원으로 이루어졌음.

접수일자 : 2003년 12월 10일, 수정완료일:2004년 1월 16일

슬롯 도파관 선형 배열 안테나 구현을 위해 이용되어져 왔다. 주기적인 표면 구조 또는 유전 도파관을 따라 구성된 금속 격자에 기반을 둔 누설파 안테나들은 밀리미터대역의 고효율 안테나로 연구되어져 왔다.

본 논문에서는 Ka 대역 전력증폭기에 PBG (photonic band gap)를 적용하여 전력증폭기의 성능을 향상하였다. 증폭기의 선형성과 효율을 개선하기 위하여 PBG를 증폭기의 2차 고조파를 제거하도록 설계 제작하였다. 또한 기존의 PBG형태와 비슷한 성능을 가지면서도 출력라인을 따라서 구현되는 PBG의 면적은 감소하도록 PBG를 변형하여 최적화 시켰다.

II. 최적화된 PBG 설계 및 측정

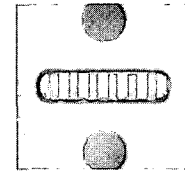
기존의 PBG 연구에서는 각기 다른 격자를 병렬로 위치시킴으로써 기존 PBG보다 넓은 저지 대역을 얻어낸 바 있다^[7]. 그러나 전력증폭기의 선형성과 효율을 개선하고자 할 때 가장 중요하게 고려되는 부분은 증폭기의 2차 고조파 성분의 제거이다. 그러므로 짧은 격자의 주기구조를 가지면서도 증폭기의 2차 고조파를 제거할 수 있는 격자를 구현할 수 있다면 회로를 소형화 할 수 있게 된다. 따라서 격자의 주기를 짧게 만들어 PBG의 면적을 줄이기 위한 연구를 수행하였다.

그림 1은 PBG의 폭 W 에 따른 저지대역 특성의 변화를 보여준다. 2개의 격자를 마이크로스트립 라인의 그라운드에 위치하였으며 기판은 두께가 0.254 mm이고 유전율 9.8을 가지는 알루미늄 기판을 사용하여 시뮬레이션 하였다. PBG의 주기를 고정시킨 채 폭 W 를 증가시키기에 따라 저지대역이 낮은 주파수로 이동하며 저지 특성 또한 향상됨을 알 수 있다. 그러나 폭을 지나치게 증가시키면 통과대역의 리플이 증가하고 손실이 발생할 수 있으므로 이에 주의하여 설계하여야 한다.

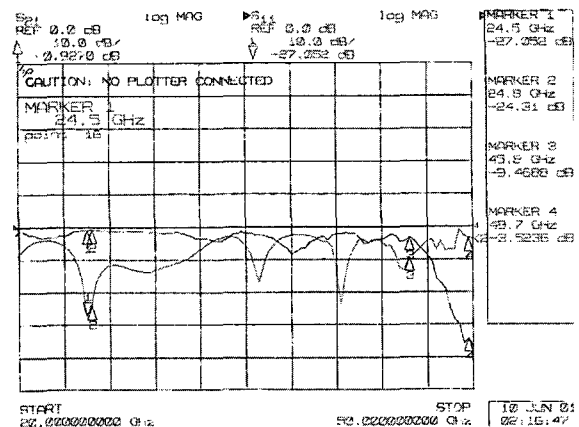
또한 증폭기가 사용하고자 하는 대역폭이 PBG의 통과 대역에 비하여 리플을 무시할 수 있을 정도로 작기 때문에 큰 문제가 되지는 않으나 S_{11} 특성이 좋은 곳에 증폭기의 대역이 위치하도록 PBG를 설계하는 것이 바람직하다.

그림 1은 설계 제작된 Ka 밴드 대역 PBG의 주파수 특성을 보여준다. 그림 1 (a)는 6개의 셀로 이루어진 실제 PBG 모습이며 폭을 증가시킨 대신에 주기를 더 짧게 구현함으로써 동일한 주파수에 저지대역이 나타나도록 하였다. 그림 1 (b)에서 보여주듯이 증폭기의 2차 고

조파만을 제거하고자 한다면 제안된 구조가 더 작은 면적을 사용하고도 효과적으로 저지대역을 형성할 수 있음을 알 수 있다. 설계 제작된 PBG는 넓은 대역에서 0.93 dB 이하의 삽입손실을 보여주고 있으며 S_{11} 은 -27 dB 그리고 Harmonic Rejection은 35 dB 이상을 보여주고 있다^[8].



(a)



(b)

그림 1. 제작된 PBG와 특성측정

- (a) 제작된 PBG
- (b) PBG 특성측정

Fig. 1. Fabricated and measurement of PBG.

- (a) Fabricated PBG
- (b) Measurement of PBG

III. 증폭기 설계 및 측정

본 논문에서는 Ka 밴드 대역에서 동작하는 하이브리드 타입의 전력증폭기에 PBG를 장착하여 성능을 개선하였다.

사용된 Ka 밴드 전력증폭기는 CHA2069 HEMT MMIC를 사용하였으며 이득과 P_{1dB} 값은 22 dB과 10 dBm 이었다. 일반적으로 밀리미터 대역에서 사용하는 제작방식은 기판을 캐리어에 접착후 캐리어를 다시 하우징에 고정하는 캐리어 타입의 제작방식으로 이에 따른 여러 제반 여건들을 고려하여 시뮬레이션을 행하였

다. PBG는 전력증폭기가 24.6GHz - 24.75 GHz의 동작 대역과 27 dBm의 출력을 유지하도록 설계되었다. 그림 2는 PBG가 적용된 전력증폭기와 대역내의 S-parameter 특성을 보여준다. PBG가 적용된 전력증폭기는 7 dB의 이득을 가지며 -16 dB이하의 S₁₁ 및 -11 dB 이하의 S₂₂의 특성을 보여주고 있다.

이는 모의실험보다 삽입손실이 증가한 것으로 실제 PBG를 제작을 함에 있어 K-Connector를 기구에 부착 시 리본 본딩으로 인한 손실과, 기판을 다시 기구에 부착시 발생하는 손실이 추가된 것으로 사료된다.

Common 50 ohm Line or PBG

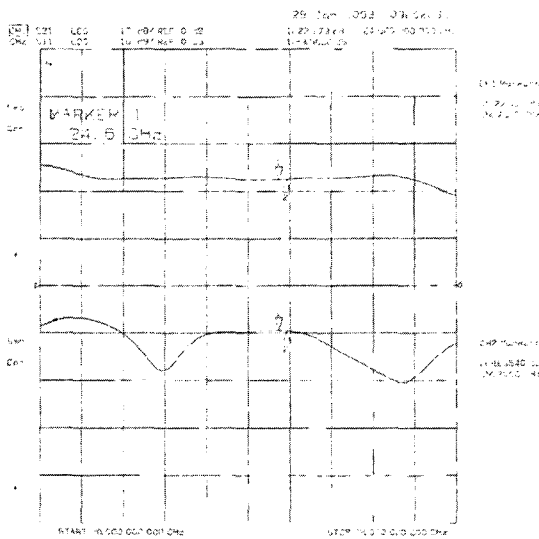
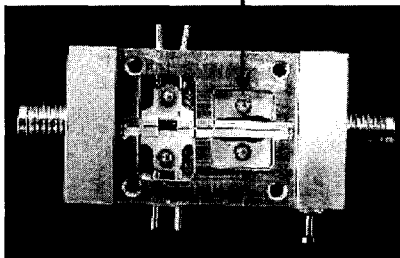


그림 2. PBG가 적용된 전력증폭기와 대역내의 S-parameter 특성
(a) PBG가 적용된 전력증폭기
(b) S-parameter 특성

Fig. 2. High power amplifier employing PBG and characteristics of S-parameter.
(a) High power amplifier employing PBG
(b) Characteristics of S-parameter

그림 3과 그림 4는 PBG를 적용하지 않은 증폭기와 적용한 증폭기의 입력전력에 따른 출력전력 및 IMD 특성을 보여주고 있다. 중심 주파수가 25.3 GHz 이며

그림 3에서 입력전력이 -8 dBm에서 -1 dBm까지 변할 때 출력전력은 PBG를 적용한 증폭기는 증폭기에서 -38 dBc에서 -21 dBc까지 변하지만 PBG를 적용하지 않은 증폭기는 -31 dBc에서 -17 dBc까지 변한다는 것을 알 수 있다.

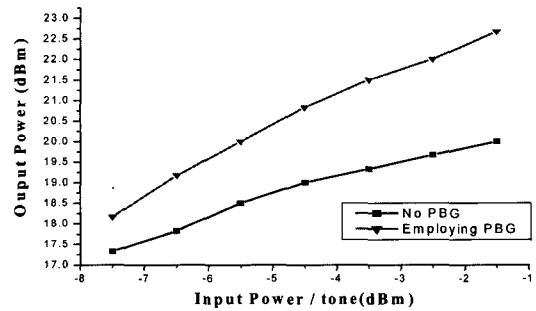


그림 3. 전력증폭기의 입력전력에 따른 출력전력 특성
Fig. 3. Input power of power amplifier vs outpower.

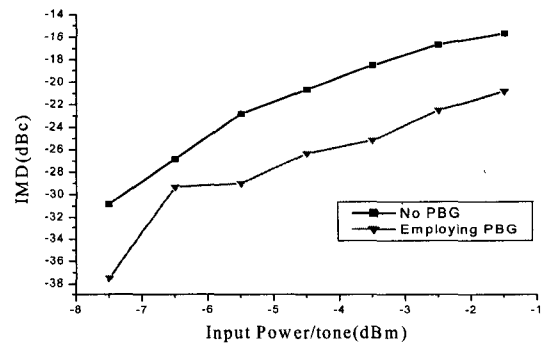


그림 4. 전력증폭기의 입력전력에 따른 IMD 특성
Fig. 4. Input power of power amplifier vs IMD.

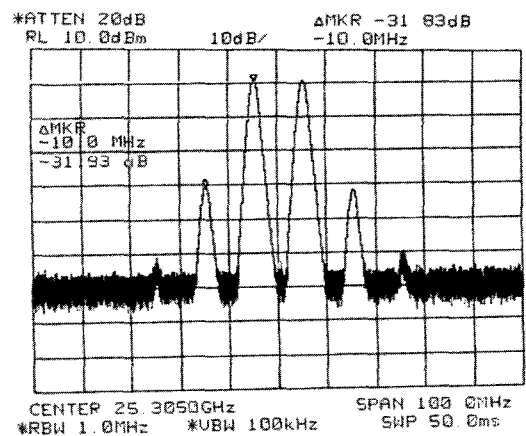


그림 5. PBG가 적용되지 않은 Ka Band 전력 증폭기 특성
Fig. 5. The characteristics of Ka Band power amplifier without PBG.

IV. Conclusion

본 논문에서는 Ka 대역의 전력증폭기를 PBG를 적용하여 성능을 개선하였다. PBG의 폭에 따른 저지대역과 통과 대역의 특성을 살펴보았으며, 이러한 특성을 이용하여 증폭기의 2차 고조파를 좀더 효과적으로 제거할 수 있도록 EM simulation을 통하여 기존의 PBG를 변형하여 최적화 시켰다.

위의 모의 실험과 실제 제작을 통하여 Ka 대역의 전력 증폭기에 대하여 PBG를 적용하면 고조파를 억제함으로써 증폭기의 선형성을 향상시킬 수 있음을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

[1] J. D. Joannopoulos, R. D. Meade and J. N. Winn, Photonic Crystals : Molding the Folow of Light, Princeton University Press, 1995.

[2] E. Yablonovitch, "Inhibited spontaneous emission in solid-state physics and electronics," Physical Review Lett., vol. 58, no. 20,1987.

[3] P. R. Villeneuve and M. Piche, "Photonic Bandgaps in Periodic Dielectric structures," Prog. Quantum Electron. 18,1994.

[4] T. J. Ellis and G. M. Rebeiz, "MM-wave Tapered slot antenna on micro masbined photonic bandgap dielectrics," IEEE MTT-S Int. Microwave Symp. Dig., June 1996.

[5] Y. Qian, V. Radisic, and T. Itoh, "Simulation and experiment of photonic bandgap structures for microstrip circuits," APMC'97 Proc. Hong Kong, Dec. 1997.

[6] V. Radisic, Y. Qian, R. Coccioli and T. Itoh, " Novel 2-D Photonic Bandgap Structure for Microstrip Lines," IEEE Microwave Guided Wave Lett., vol. 8, no. 2, 1998.

[7] T.S. Kim and Chulhun Seo, "Novel Photonic Bandgap Structure for Low- pass Filter of Wide Stopband," IEEE Microwave Guided Wave Lett., vol.10, no.1, Jan. 2000.

[8] 임석순, 서철현, 박규호, 송희성, "PBG를 이용한 밀리미터웨이브 고출력 증폭기에 관한 연구," 한국전자과학회 논문지, vol.14, no.1, Jan. 2003.

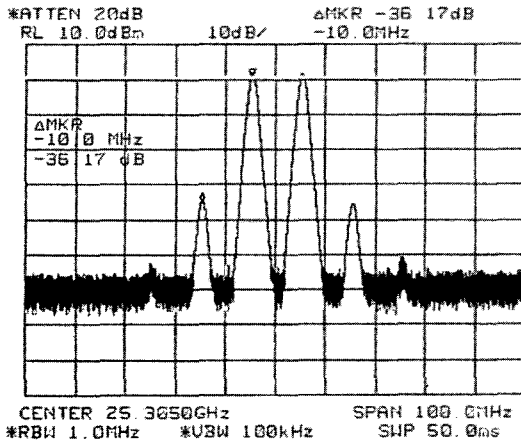


그림 6. PBG가 적용된 Ka Band 전력증폭기 특성
Fig. 6. The characteristics of Ka Band power amplifier with PBG.

그림 5와 그림 6은 PBG를 적용하지 않은 증폭기와 적용한 증폭기의 Two-tone IMD특성을 보여주고 있다. 중심 주파수가 25.3 GHz 이며 기존방식의 전력증폭기의 입력전력이 -13 dBm 일때 출력전력과 IMD는 각각 9 dBm, -31.8 dBc 이었고 PBG를 적용한 전력증폭기는 같은 입사전력일 때 출력전력과 IMD는 각각 12 dBm, -36.2 dBc 이었다.

표 1은 기존 형태의 전력증폭기와 PBG를 장착한 전력 증폭기의 성능차이를 총괄적으로 보여준다. 출력전력에서 3.5dBm 향상되었으며 IMD는 16dBc 개선되었고 전력효율 PAE는 7.2%에서 16.0%로 향상되었음을 알 수 있다.

표 1. PBG를 적용한 전력증폭기와 적용하지 않은 전력증폭기의 성능비교

Table. 1. Comparisons of high power amplifier with PBG and with no PBG.

	Conventional AMP	Employing PBG AMP
Frequency Range	24.6 ~ 24.75 GHz	24.6 ~ 24.75 GHz
Gain	21.95 dB	22.37 dB
Gain Flatness	1.0 dB	1.0 dB
Output Power	21.4 dBm	24.9 dBm
IMD	-15.6 dBc	-31.6 dBc
PAE	7.2%	16.0%

저 자 소 개