

PBG를 이용한 광대역 전방급전 전력증폭기의 성능개선에 관한 연구

정회원 윤진호*, 서철헌*

Improvement of Broadband Feedforward Amplifier Using Photonic Bandgap

Jinho Yoon*, Chulhun Seo* *Regular Members*

요 약

본 논문에서는 IMT-2000 대역에서 전방급전 전력증폭기의 선형성을 개선하여 효율과 대역폭을 극대화 하기 위해 Photonic Bandgap(PBG), 전치왜곡, 2차고조파 튜닝 방식을 동시에 주 증폭기에 적용하였다. 2차 하모닉 성분이 2차고조파 튜닝 방식에 의해 우수하게 제거되고 3차 하모닉 성분이 전치왜곡 방식에 의해 제거되며 출력단의 PBG는 광대역 특성으로 4차 하모닉 이상까지 제거하는 우수한 특성을 보여주었다. 총체적으로 기존의 전방급전 전력증폭기보다 IMD가 최고 15dBc, 효율은 4%, 대역폭은 2배이상 확대됨으로 전력효율과 대역폭을 극대화시킬 수 있었다.

ABSTRACT

In this paper, the photonic bandgap, the predistortion and the secondary harmonic balance are simultaneously employed in feedforward amplifier to maximize the power added efficiency (PAE) and the operating bandwidth for in IMT-2000 band. In this case, the secondary harmonic balance and the predistortion linearizer can cancel the second and the third harmonics, respectively. The PBG prevented any more harmonics to appear over 6GHz. The feedforward amplifier was improved 4%, and 15dBc in the PAE and the IMD(Intermodulation Distortion), respectively. The operation bandwidth was achieved twice wider than the conventional feedforward amplifier.

1. 서론

현재의 통신 시스템은 다수의 가입자에게 양질의 데이터 전송을 위해 고출력 증폭기에 대한 요구가 점점 커지고 있다. 특히 효율감소는 이러한 요구에 직접적인 제한요인이 되고 있다. 일반적으로 기저국 용으로 사용되는 증폭기의 선형도를 만족시키기 위해서는 전방급전 방식의 선형화 회로를 많이 사용한다¹⁻⁴⁾. 하지만 전방급전 방식의 선형화 회로는 입력신호의 위상과 크기를 정확히 맞춰야 하므로 대역폭이 감소하는 단점을 가지고 있을 뿐만 아니라 비선형 성분을 제거하기 위해 또다른 저잡음 증폭

기를 연결해야 하기 때문에 효율이 감소하는 문제점을 가지고 있다. 아날로그 전치왜곡, 2차고조파 튜닝 방식을 전력증폭기에 적용할 경우 이러한 문제점이 다소 개선될 수는 있으나 개선도는 미약하다⁵⁻⁶⁾. PBG구조의 기판을 사용하면 주파수가 올라감에 따라 평면형 기판을 이용한 RF 부품들에 나타나는 문제점들 중 안테나의 협대역의 밴드폭 및 낮은 이득, Surface Wave 손실, 고출력 증폭기(HPA, LPA)의 선형화문제, 필터의 하모닉 성분을 해결할 수 있으며 광대역 특성, 고이득 특성, 고효율 등 뛰어난 특성을 지닌 RF 부품을 설계할 수 있다. HPA에서는 출력 단자에서 PBG구조를 사용함으로써 증

* 숭실대학교 정보통신공학과(railgun@wave.ssu.ac.kr)
논문번호 : 00410-1023, 접수일자 : 2000년 10월 23일

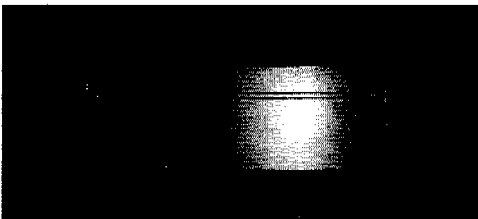
폭기 내부구조의 변화 없이 출력 효율을 향상시킬 수 있는 특성을 지닐 수 있다⁷⁻⁸⁾. 필터에서는 광대역 저지대역을 형성하여 불필요한 하모닉 성분들을 제거할 수 있는 Cutoff 특성이 좋은 고급 필터의 설계가 가능하다⁹⁾.

본 논문에서는 기지국용 전방급전 전력증폭기의 주증폭기 선형성을 개선하여 효율과 대역폭을 극대화 하기 위해 전치왜곡, 2차고조파 튜닝, PBG 방식을 동시에 주 증폭기에 적용하였다.

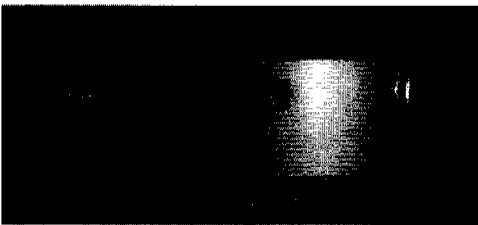
II. 주 증폭기 설계

설계 및 제작된 주 증폭기는 차세대 무선통신의 새로운 주파수 할당대역인 2.13GHz 대역에서 설계되었다. 사용된 소자는 NE650 소자로 8V, 500mA에서 A급 동작점을 잡아서 4W급 동작을 하도록 제작되었다. 고풍력 FET의 이론적 최대 효율은 45%, 11dB의 선형이득, 최대 입력 전력이 26dBm이다. 하지만 측정결과 IMD 30dBc 특성을 만족하기 위해서는 20dBm까지의 입력을 허용하여 PBG, 전치왜곡, 2차 고조파 튜닝을 사용하지 않고 제작된 주증폭기는 효율이 30%를 넘기가 힘들었다. 실제 제작된 증폭기는 선형이득이 8dB로 3dB의 감쇄를 가져오므로 효율은 최대 30%를 얻었다.

그림 1은 위의 주 증폭기에 PBG, 전치왜곡, 2차 고조파 튜닝을 적용한 실제 사진이다. PBG로 인해 크기가 2배이상 커진 것을 볼 수 있으나 전방급전



(a)



(b)

그림 1. PBG, 전치왜곡, 2차고조파 튜닝 방식을 적용한 주증폭기 (a) 뒷면 (b) 아래면

에 적용될 경우 크기는 상대적으로 중요도가 떨어지게 된다.

그림 2는 시뮬레이션 및 측정된 주증폭기의 IMD 특성을 보여주고 있다. 고조파 2-tone 시뮬레이션 결과 26dBm 입력에서 출력은 31.8dBm으로 45% 효율을 가질수 있으나 IMD가 30dBc 이상이 되기 위해서는 이보다 못 미치는 20~22dBm 사이에서 사용되어야 함을 알 수 있다.

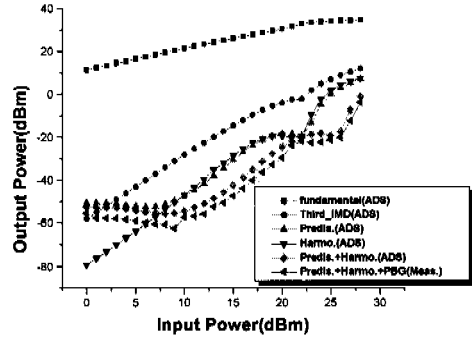


그림 2. 시뮬레이션 및 측정된 주 증폭기의 출력 및 IMD특성

이러한 효율의 저하를 극복하기 위해 PBG, 전치 왜곡, 2차 고조파 튜닝을 동시에 적용하였다. 시뮬레이션 상에서 PBG를 제외하고 측정된 결과는 입력 전력이 낮을때는 최대 15dBc까지 IMD 특성이 개선되었으며 입력전력이 높을때는 7dBc의 IMD개선 특성이 나타났다. 각각을 따로 적용했을 때 보다 5dBc이상의 우수한 특성을 보여주고 있다. 마지막으로 광대역 PBG를 그라운드 평면에 에칭후 실제 측정된 결과는 전 입력파위에 대해 3dBc 추가 IMD개선을 보여주고 있다.

III. 전방급전 모듈 설계 및 측정

설계 목표는 주증폭기의 IMD가 30dBc가 되게 입력전력을 공급할 때 전방급전출력으로 60dBc이상의 IMD특성을 얻는 것이다. PBG, 전치왜곡, 2차 고조파 튜닝을 사용하지 않을 때 이러한 입력전력은 20dBm이라고 앞에서 살펴보았다. 하지만 PBG, 전치왜곡, 2차 고조파 튜닝을 동시에 사용하게 되면 입력으로 26dBm까지 들어가게 되더라도 주증폭기의 IMD특성이 30dBc를 만족하게 되므로 출력효율이 증가하게 되는 것이다. 결국 6dB Back-Off가 필요하지 않게 되는 것이다. 만약 20dBm의 입력만을 사용하게 되면 전방급전출력IMD가 70dBc이상으로

매우 우수한 값을 얻을 수 있다.

그림 3은 전방급전 전력증폭기의 측정된 효율을 보여주고 있다. PBG, 전치왜곡, 2차 고조파 튜닝을 사용할 때 최대 효율이 8%에서 12%로 증가하였다.

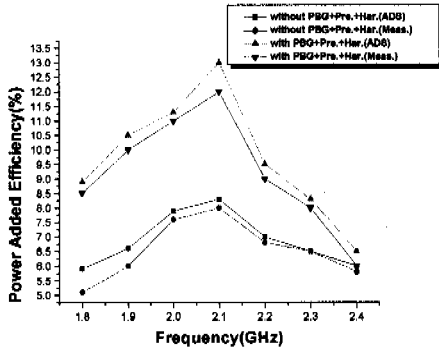


그림 3. 전방급전 전력증폭기의 효율

그림 4는 PBG, 전치왜곡, 2차 고조파 튜닝을 각각 사용했을 경우에 대역폭 변화의 실험치를 보여주고 있는데 일반적인 전력증폭기만을 사용한 전방급전 증폭기의 경우 2dB 변화 내에서 2.13GHz를 중심으로 900MHz의 대역을 가지는 것을 볼 수 있으나 전치왜곡, 2차고조파 튜닝만을 사용했을 경우는 대역폭이 400MHz로 줄어드는 것을 보여주고 있으며 PBG를 동시에 사용할 경우 대역폭이 1800MHz로 2배 확장되는 것을 확인할 수 있다. 전치왜곡, 2차고조파 튜닝만을 사용했을 경우에는 2.13GHz를 중심으로 설계되었기 때문에 주파수가 변화함에 따라 대역폭이 감소하는 면을 보여주고 있지만 PBG를 이용해 충분히 보상될수 있음을 보여주기 때문에 대역폭과 효율을 동시에 향상시킬 수 있음을 측정할 수 있었다.

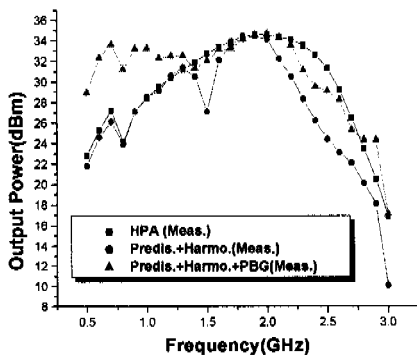


그림 4. 입력주파수에 따른 대역폭

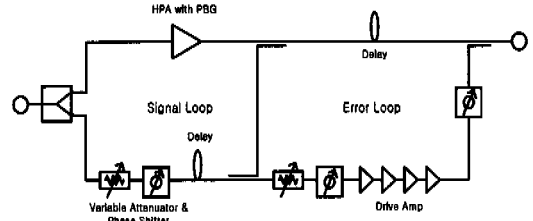


그림 5. 전방급전 전력증폭기 회로도

그림 5는 전방급전 전력증폭기의 회로도이다. 실제 제작에서는 4개의 10dB 이득을 가지는 구동증폭기와 90도 위상변화를 가지는 위상변화기 2개, 15dB 감쇄를 가지는 가변감쇄기 3개, 3dB 전력분배기 1개, 결합선로 결합기 3개가 제작되었다. 신호제거 루프와 오차 제거루프 6.2ns의 시간지연을 일치시키기 위해서는 길이별 Rigid Cable을 이용하였다.

그림 6은 전방급전 출력단 1MHz 대역 하모닉 2-tone 결과로서 주증폭기에 PBG, 전치왜곡, 2차고조파 튜닝을 적용했을때의 결과이다. IMD가 60dBc 보다 15dBc 향상된 75dBc로 매우 우수하게 나타나는 것을 볼 수 있다.

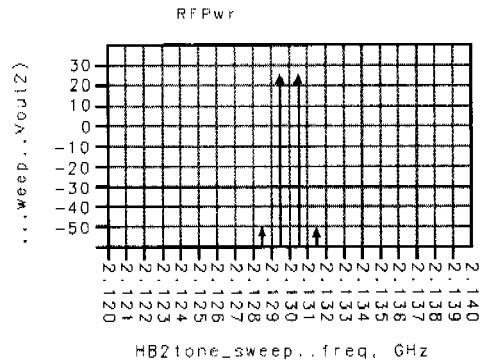


그림 6. 2-tone에서의 IMD특성

IV. 결론

본 논문에서는 차세대 이동통신 주파수 대역인 2.13GHz 대역에서 전치왜곡, 고조파 튜닝 방식을 동시에 적용하고 광대역 고조파 성분을 제거할 수 있는 PBG 구조를 그라운드 평면에 에칭하여 기저국용 전방급전 전력증폭기를 제작하였다. PBG, 전치왜곡, 2차 고조파 튜닝을 동시에 사용했을 경우에 효율은 4% 향상을 얻을수 있었다. 이러한 결과는 PBG, 전

치왜곡, 2차 고조파 튜닝을 동시에 적용하여 IMD 특성을 동일한 입력전력에 대해 15dBc 향상시켰기 때문이며 고출력 증폭기의 효율을 4% 이상, 대역폭은 2배로 향상시키는 결과를 얻을 수 있었다.

참고 문헌

[1] Nick Pothecary, "Feedforward Linear Power Amplifier," *Artech House*, pp. 57-62, 1999.

[2] Shawn P. Stapleton, "Adaptive Feedforward Linearization for RF Power Amplifier," *Microwave Journal*, pp. 136-144, Oct, 1999.

[3] Y. K. G Hau, V. Postoyalko, and J.R. Richardson. "Sensitivity of Distortion Cancellation in Feedforward Amplifiers to Loop Imbalances," *IEEE MTT-S Digest*, pp. 1695-1697, 1997.

[4] S. G. Kang, I. K. Lee, and K. S. Yoo, "Analysis and Design of Feedforward Power Amplifiers," *IEEE MTT-S Digest*, pp. 1519-1522, 1997.

[5] K. Yamauchi, K. Mori, M. Nakayama, Y. Itoh, Y. Mitsui, and O. Ishida, "A Novel Series Diode Linearizer for Mobile Radio Power Amplifiers," *IEEE MTT-S Digest*, pp. 831-834, 1996.

[6] M. Maeda, H. Masato, H. Takehara, M. Nakamura, S. Morimoto, and H. Fujimoto, "Source Second-Harmonic control for High Efficiency Power Amplifiers," *IEEE Trans. on MTT*, Vol-43, No. 12, Dec, 1995, pp. 2952-2958.

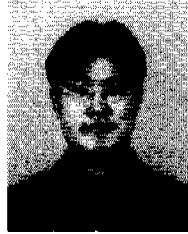
[7] E.R. Brown, O. B.Mcmahon and C. D.Parker, "Photonic-Crystal Antenna substrates," *Lincoln Laboratory Journal*, vol.11, no.2, pp. 159-173, 1998.

[8] Vesna Radisic, Yongxi Qian, and Tatsuo Itoh, "Broad-Band Power Amplifier Using Dielectric Photonic Bandgap Structure," *IEEE Trans. MTT Guided wave letters*, Vol. 8, No. 1, Jan, 1998.

[9] T. S. Kim and Chulhun Seo, "Novel Photonic Bandgap Structure for Lowpass Filter of Wide Stopband," *IEEE Trans. MTT Guided wave letters*, vol.10, no.1, pp.13-15, Jan. 2000.

윤진호(Jinho Yoon)

정회원



2000년 2월 : 숭실대학교
정보통신공학과 졸업
(학사)

2000년 3월~현재 : 숭실대학교
정보통신공학과
석사과정 재학중

<주관심 분야> RF 및 마이크로웨이브 대역 전력증폭기설계, RF 회로설계, RFIC 회로설계.

서철현(Chul-hun Seo)

정회원

한국통신학회논문지 Vol. 23, No. 1 참고