

논문 2012-49TC-1-9

Metamaterial 구조의 대역통과여파기를 이용한 WCDMA 대역 고선형 전력증폭기 설계

(Design of Highly Linear Power Amplifier
using Bandpass Filter based on Metamaterial Structure)

김 형 준*, 서 철 현**

(Hyoungjun Kim and Chulhun Seo)

요 약

본 논문에서는 Composite Right-/Left-Handed (CRLH) 형태의 Metamaterial 구조의 대역통과여파기를 설계하여 이를 전력증폭기의 출력 정합단에 이용함으로써 고선형 전력증폭기를 구현하였다. 제안된 대역통과여파기는 직렬형태의 캐페시터와 전송선로, 병렬형태의 인덕터와 전송선로로 이루어져 있다. 전력증폭기의 동작대역에서 손실을 최소화하고 CRLH 구조를 이용하여 2차 고조파 성분을 제한시켜 전력증폭기의 선형성을 개선하였다. 또한 협대역 대역통과여파기의 특성을 이용하여 인접채널 누수비 특성 또한 개선하였다. 제안된 전력증폭기는 각각 출력 전력과 2차 고조파, 3차 혼변조, 인접채널 전력누수비는 각각 2.14 GHz에서 38.83 dBm, -61.33 dBc, -54.67 dBc, -51.33 dBc @ 5 MHz, -56.50 dBc @ 10 MHz의 특성을 얻었다.

Abstract

In this paper, highly linear power amplifier using bandpass filter based on metamaterial and Composite Right-/Left-Handed (CRLH) structure is proposed. The proposed bandpass filter consist of the series capacitor, series microstrip line and the parallel inductor, parallel microstrip line. The insertion loss is minimized at operation frequency and the 2nd harmonic is suppressed by the bandpass filter using the CRLH structure. And we improved the Adjacent Channel Leakage Ratio (ACLR) using the characteristic of the proposed bandpass filter. At 2.14 GHz, we have obtained the output power of 38.83 dBm, the 2nd harmonic of -61.33 dBc, the 3rd IMD of -54.67 dBc, and ACLR of -51.33 dBc at 5 MHz offset, -56.50 dBc at 10 MHz offset, respectively.

Keywords : Power amplifier, CRLH(Composite Right-/Left-Handed), Metamaterial, Linearity, Bandpass filter

I. 서 론

최근 들어 무선통신 시스템의 급격한 보급에 의해 무선통신 시스템용 전력증폭기의 비선형성 특성의 중요성이 부각되고 있으며, 앞으로도 새로운 환경에 적합한

고출력, 고선형성 특성을 갖는 전력증폭기의 개발이 시급한 것으로 나타나고 있다. 따라서 이러한 전력증폭기의 비선형 특성을 개선하기 위해 많은 연구가 되고 있다^[1]. 일반적으로 전력증폭기의 선형성을 개선시키는 방법으로는 Feedback, Back off, Feed-forward, Pre-distortion의 방법 등이 있다. 하지만, 위와 같은 방법들을 이용하기에는 장단점에 존재하게 마련이다. Feedback 형식의 회로의 불안정성, Back-off 형식의 출력 전력 및 효율의 감소, Feed-forward 방식의 회로의 복잡성 등으로 인해 이용되지 않고 있다. 또한 고조파 성분을 제거하기 위해 기존의 대역통과여파기 등을 이

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

※ 본 연구는 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임
(No. 20110020262).

접수일자: 2012년1월04일, 수정완료일: 2012년1월17일

용하게 되는데 이는 주파수에 따라 크기가 결정되어지기 때문에 전체적인 전력증폭기의 크기면에서 단점을 가지고 있다^[2]. 최근에는 Left-Handed Material (LHM)은 마이크로파분야에서 큰 관심을 받고 있다^[3~4]. 이는 기존의 특성을 유지하면서 회로의 크기를 보다 소형화를 할 수 있는 장점을 가지고 있다. 따라서 본 논문에서는 기존의 Right-Handed Material (RHM) 구조에서의 주파수에 의해 결정되는 여파기를 사용하는 대신 Composite Right- / Left-Handed (CRLH) 구조를 이용하여 작은 크기의 대역통과여파기를 설계하여 이를 전력증폭기에 적용하여 전력증폭기의 선형성을 개선하였다.

II. 제안된 CRLH 대역통과여파기

이상적인 CRLH 전송선로는 그림 1에서 보여주는 이상적인 RH 전송 선로와 이상적인 LH 전송선로의 조합이다^[5~6]. L_R 과 C_R 은 각각 RH 전송 선로의 등가 집중 정수 소자 모델의 단위 셀에서의 인덕턴스와 캐패시턴스이다. L_L 과 C_L 은 각각 LH 전송선로의 등가 집중 정

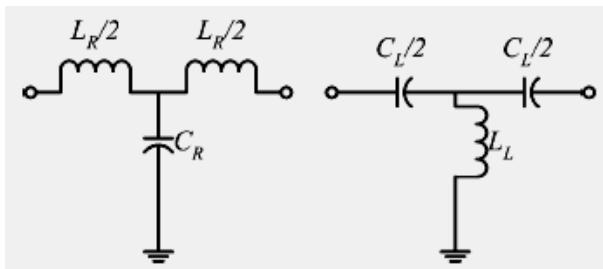


그림 1. RH와 LH전송 선로의 T-형태 단위 셀
(a) RH 전송 선로, (b) LH 전송 선로
Fig. 1. T-type unit cells of artificial RH and LH TLs.
(a) RH TL, (b) LH TL.

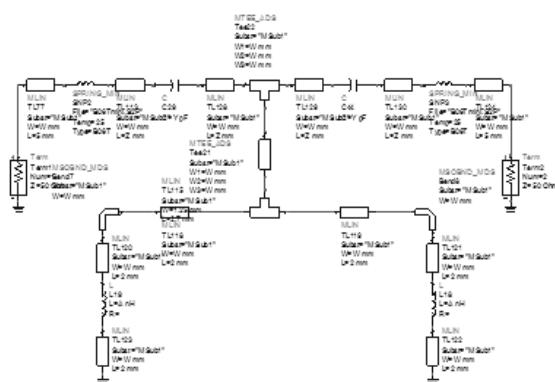


그림 2. 제안된 CRLH 대역통과여파기의 회로
Fig. 2. Proposed CRLH bandpass filter.

수 소자 모델의 단위 셀에서의 인덕턴스와 캐패시턴스이다. LH 전송선로는 인덕터와 캐패시터의 위치가 서로 바뀐 점에서 RH 전송 선로의 전기적인 듀얼 관계이다.

그림 2는 본 논문에서 제안한 CRLH 대역통과여파기의 회로도를 보여주고 있다. CRLH 구조를 위해 직렬로 연결된 마이크로스트립 라인에 직렬 캐패시터를 이용하였으며, 병렬로 인덕터와 via를 이용하여 병렬 인덕턴스를 구현하였다. 그림 3은 제안한 CRLH 대역통과여파기의 모의실험 결과를 보여주고 있다. 파란색은 정합되기 전의 결과이며, 2차 고조파 성분인 4.28 GHz 대역을 억압하기 위해 보정된 그림이 빨간 라인이다. 2.14 GHz 대역에서의 삽입손실은 -0.238 dB이며, 2차 고조파 대역인 4.28 GHz 대역에서는 약 -40 dB 이하의 특성을 나타내고 있다. 그림 4는 제안된 CRLH 대역통과여파기

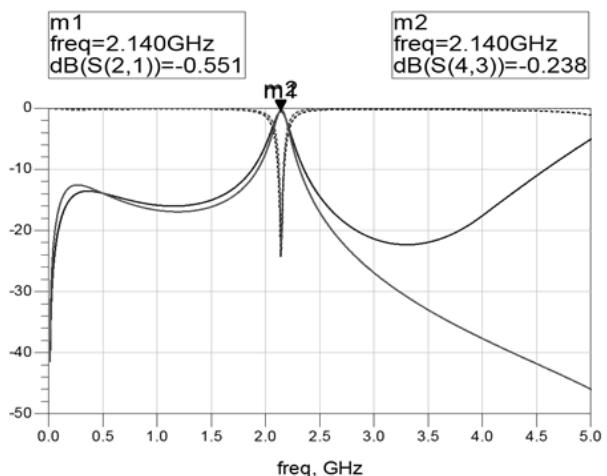


그림 3. 제안된 CRLH 대역통과여파기의 모의실험
Fig. 3. Simulation of proposed CRLH bandpass filter.

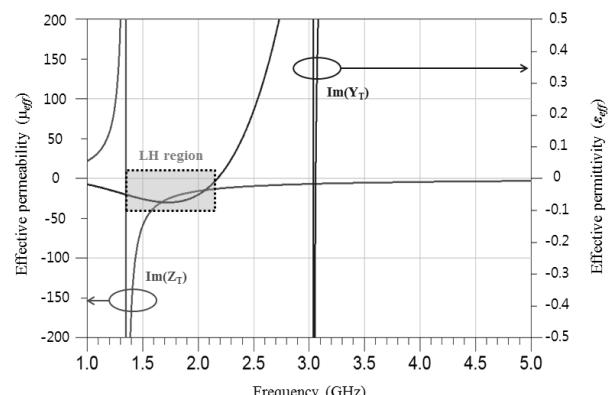


그림 4. 제안된 CRLH 대역통과여파기의 유효 유전율 및 유효 투자율 특성
Fig. 4. Characteristic of the effective permittivity and the permeability.

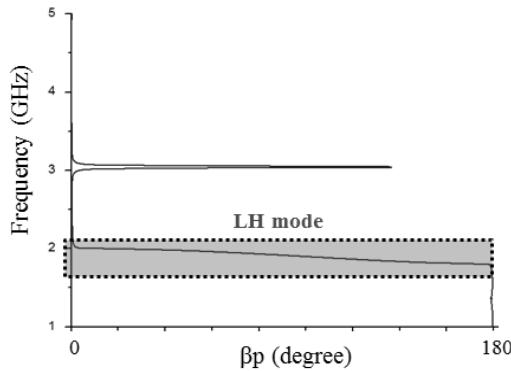


그림 5. 제안된 CRLH 대역통과여파기의 위상 응답
Fig. 5. Dispersion diagram of bandpass filter.

가 LH 영역에서 동작하는지를 확인하기 위한 그림이다. 이는 유효유전율과 유효 투자율이 모두 음이 되는 영역이 LH 영역이므로 그림 4에서 보여지는 것과 같이 1.5 GHz 부터 2.2 GHz 까지 유효 유전율 및 유효 투자율이 모두 음의 값을 갖는 것을 확인할 수 있다.

$$\beta = \left| \cos^{-1} \left\{ \frac{1 - S_{11}S_{22} + S_{12}S_{21}}{2S_{21}} \right\} \right| \quad (1)$$

그림 5는 제안된 CRLH 대역통과여파기의 dispersion diagram을 보여주고 있다. 위상응답특성은 식 (1)에 의해 추출된 S-parameter의 값들로부터 구해질 수 있으며, 그림 4에서와 같은 주파수 대역인 1.5 GHz 부터 2.2 GHz 까지 위상 응답이 음의 기울기를 갖고 있으며, 즉 이 주파수 대역에서는 LH 영역임을 확인할 수 있다.

III. 제안된 전력증폭기 구현 및 측정결과

그림 6은 본 논문에서 제안된 대역통과여파기를 이용한 전력증폭기의 측정을 위한 셋업 사진이다.

제작된 전력증폭기에 사용된 기판은 Taconic 사의 3.2 유전율의 갖고 두께 31 mil Teflon 기판을 사용하였으며, 측정을 위해 43 dB의 이득을 갖는 구동증폭기와 -46 dB의 감쇄특성을 갖는 감쇄기를 사용하였다. 그림 7부터 그림 12까지는 제안된 전력증폭기의 측정 결과를 보여주고 있다. 각각 출력전력은 38.83 dBm (약 5W), 2 차 고조파 특성은 61.33 dBc, 3차 혼변조 특성은 -54.67 dBc, ACLR 특성은 5 MHz offset에서 -51.33 dBc, 10 MHz offset에서는 -56.50 dBc의 측정결과를 나타내고 있다.

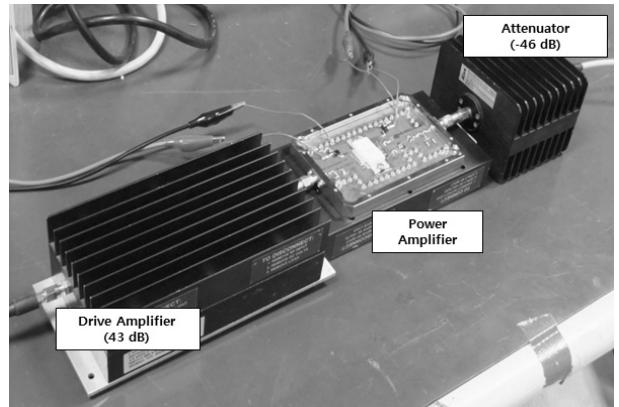


그림 6. 제안된 전력증폭기의 측정 셋업
Fig. 6. Measurement setup.

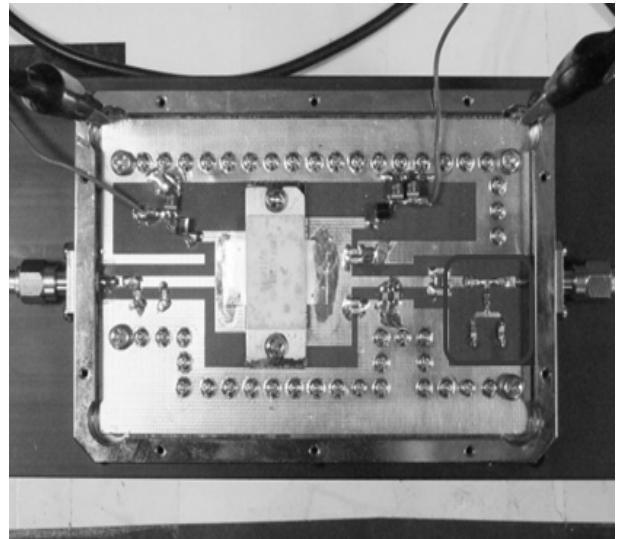


그림 7. 제안된 전력증폭기
Fig. 7. Proposed power amplifier.

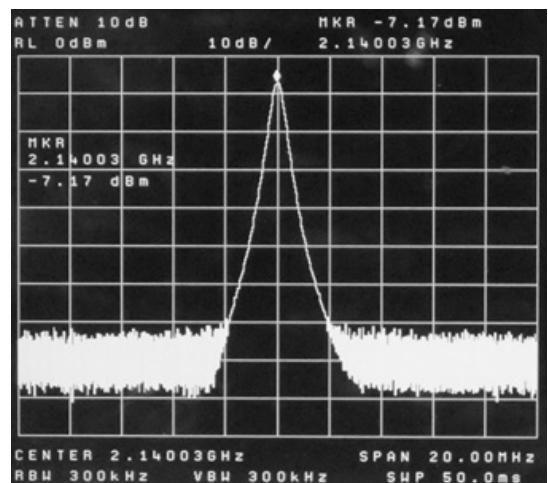


그림 8. 제안된 전력증폭기의 출력 전력
Fig. 8. Output power of proposed power amplifier.

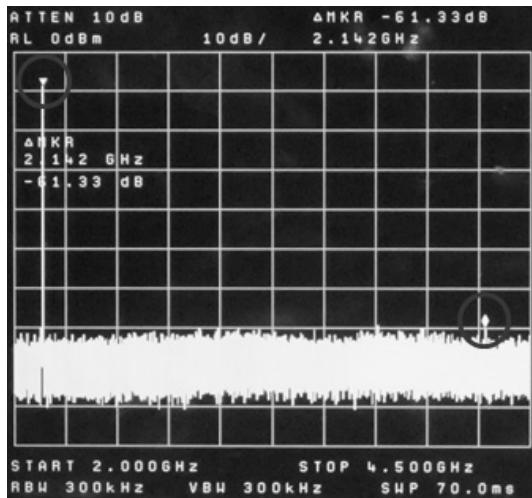


그림 9. 제안된 전력증폭기의 2nd 고조파
Fig. 9. 2nd harmonic of proposed power amplifier.

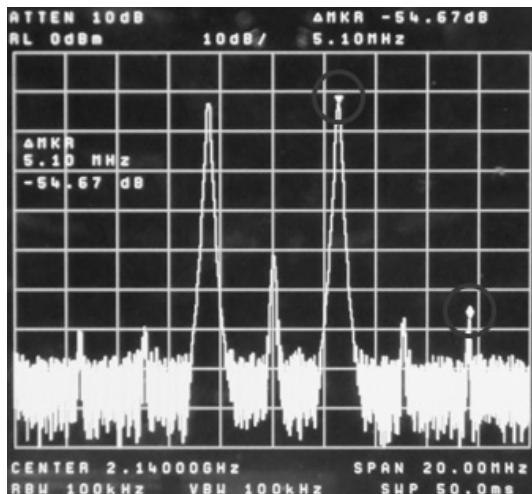


그림 10. 제안된 전력증폭기의 3차 혼변조
Fig. 10. 3rd IMD of proposed power amplifier.

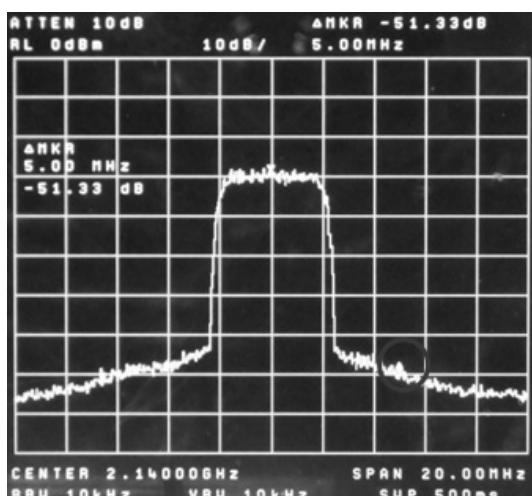


그림 11. 제안된 전력증폭기의 ACLR (@ 5 MHz)
Fig. 11. ACLR of proposed power amplifier (@ 5 MHz).

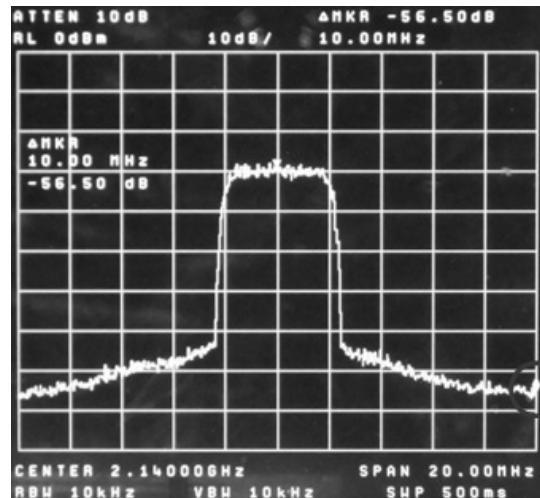


그림 12. 제안된 전력증폭기의 ACLR (@ 10 MHz)
Fig. 12. ACLR of proposed power amplifier (@ 10 MHz).

표 1. 제안된 전력증폭기의 측정 결과
Table 1. Result of the proposed power amplifier.

	단위	Measured Results
Frequency	GHz	2.14
Output Power	dBm	38.83
Gain	dB	11.83
2 nd Harmonic	dBc	-61.33
3 rd IMD	dBc	-54.67
ACLR	dBc	-51.33 @ 5 MHz -56.50 @ 10 MHz

IV. 결 론

본 논문에서는 CRLH 구조의 대역통과여파기를 이용하여 선형성이 개선된 전력증폭기를 구현하였다. CRLH 구조를 이용한 대역통과여파기의 구조는 직렬로 마이크로스트립 라인과 직렬 캐패시터, 병렬 마이크로스트립 라인과 병렬 인덕터, via로 이루어져 있다. 전력증폭기의 동작대역에서 손실을 최소화하고 CRLH 전송 선로를 이용하여 2차 고조파 성분을 제한시켜 전력증폭기의 선형성을 개선하였다. 또한 제안된 대역통과여파기는 유효 유전율과 유효 투자율이 동시 음의 값을 갖는 LH 영역에서 동작하고 있다.

2.14 GHz에서 동작하는 전력증폭기의 측정된 출력 전력은 38.83 dBm 기준으로 각각 2차 고조파는 -61.33

dBc, 3차 혼변조 특성은 -54.67 dBc, ACLR은 5 MHz offset에서 -51.33 dBc, 10 MHz offset에서 -56.50 dBc 가 측정되었다.

참 고 문 헌

- [1] S. C. Cripps, RF Power Amplifiers for Wireless Communications, Artech House, 1999.
- [2] C. Lee, C. Seo, “EER 구조의 응용과 PBG를 이용한 고효율, 고선형성 Class-F 전력 증폭기,” 전자공학회논문지, 44권, 2호, 81-86쪽, 2007년
- [3] A. Lai, C. Caloz, and T. Itoh, “Composite right/left-handed transmission line metamaterials,” *IEEE Microwave Magazine*, vol. 5, pp. 34-50, September 2004.
- [4] I-Hsiang Lin, M. DeVincentis, and C. Caloz, and T. Itoh, “Arbitrary dual-band composite using composite right/left-handed transmission lines,” *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 52, no. 4, pp. 1142-1149, April 2004.
- [5] J. B. Pendry, “Negative refraction makes perfect lens,” *Phys. Rev. Lett.*, vol. 85, pp. 3966-3969, 2000.
- [6] V. G. Veselago, “The electrodynamics of substances with simultaneously negative values of ϵ and μ ,” *Sov. Phys.-Usp.*, vol. 10, pp. 509-514, 1968.

저 자 소 개



김 형 준(학생회원)
2005년 2월 숭실대학교 정보통신
전자공학부 (공학사)
2007년 2월 숭실대학교 정보통신
공학과 (공학석사)
2007년 3월 ~ 현재 숭실대학교
정보통신공학과 박사과정

<주관심분야 : 초고주파 회로 설계, RF Power Amplifier, RFIC, VCO, 무선 전력 전송>

서 철 현(정회원)
대한전자공학회 논문지
31권, 6호 참조