

논문 2011-48TC-1-14

CRLH 구조의 대역통과여파기를 이용한 전력증폭기의 선형성 개선에 관한 연구

(A Linearity Improved Power Amplifier using Bandpass Filter Based on Composite Right-/Left-Handed Structure)

김형준*, 서철현**

(Hyoungjun Kim and Chulhun Seo)

요약

본 논문에서는 CRLH 구조의 대역통과여파기를 이용하여 선형성이 개선된 전력증폭기를 구현하였다. CRLH 구조를 이용한 대역통과여파기의 구조는 윗면에는 인터디지트 형태의 신호선으로, 아랫면에는 CSRR 형태의 구조로 이루어져 있으며, via를 통해 윗면과 아랫면이 연결되어 있다. 전력증폭기의 동작대역에서 손실을 최소화하고 CRLH 전송 선로를 이용하여 2차 고조파 성분을 제한시켜서 전력증폭기의 선형성을 개선하였다. 2.14GHz에서 동작하는 전력증폭기의 측정된 출력 전력은 33dBm 기준으로 2차 고조파는 -53.527 dBc, 3차 혼변조 신호는 -36.16 dBc, 부가전력효율은 33.14%가 측정되었으며, 이는 기존의 전력증폭기에 비해 2차 고조파는 약 16 dB, 3차 혼변조 신호는 약 12 dB 개선되었다.

Abstract

In this paper, we present a bandpass filter (BPF) based on composite right-/left-handed (CRLH) structure for improving the linearity of the power amplifier. The proposed BPF consist of the inter-digit signal line on the top plane and the complementary split ring resonator (CSRR) on the bottom plane, respectively. The insertion loss is minimized at operation frequency and the 2nd harmonic is suppressed by the bandpass filter using the CRLH structure, respectively. The output power of 33 dBm, the 2nd harmonic of -53.527 dBc, 3rd inter-modulation distortion of -36.16 dBc was obtained at 2.14 GHz, respectively. Compared with the reference power amplifier, the 2nd harmonic of 16 dB and 3rd inter-modulation distortion of 12 dB have been improved at 2.14 GHz, respectively.

Keywords : Power Amplifier, Linearity, CRLH(Composite Right/Left-Handed Transmission Line)

I. 서론

무선통신 시스템에서의 송신단 중 전력증폭기의 비선

형성이 크게 문제가 되고 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 여파기 등을 이용하게 되는데 이는 주파수에 따라 크기가 결정되어지기 때문에

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

※ 본 연구는 한국과학재단 중견연구자지원사업인 "RFID와 무선랜을 이용한 Ubiquitous Hospital Management System 구축에 관한 연구"사업지원으로 이루어졌음. (R01-2006-000-10298-0)

※ 본 논문은 한국과학재단 기초연구사업인 "RF 공진을 이용한 고효율 무선 에너지 전송 연구" 사업지원으로 이루어졌음. (2009-0080772)

접수일자: 2011년1월7일, 수정완료일: 2011년1월14일

전체적인 전력증폭기 크기에서 단점을 가지고 있다^[2].

최근에는 Left-Handed Material (LHM)은 마이크로 파분야에서 큰 관심을 받고 있다^[3~4]. 따라서 본 논문에서는 기존의 Right-Handed 구조에서의 주파수에 의해 결정되는 여파기를 사용하는 대신 Composite Right-/Left-Handed Transmission Line(CRLH) 구조를 이용하여 작은 크기의 대역통과여파기를 설계하여 전력증폭기에 적용하여 전력증폭기의 선형성을 개선하였다.

II. 제안된 대역통과여파기

이상적인 CRLH 전송 선로의 위상 응답은 그림 1에서 보여주는 이상적인 LH 전송 선로와 이상적인 RH 전송 선로의 조합이다^[5~6].

그림 2는 본 논문에서 제안한 대역통과여파기의 단위 셀과 그에 따른 등가회로를 보여주고 있다. 그림 2의 (a)에서 보여 주듯이 단위 셀의 구조는 LH 모드의 직렬 커패시턴스를 구현하기 위해 윗면에 inter-digit 형태로 signal line이 이루어져 있으며, 병렬 인덕턴스를 구현하

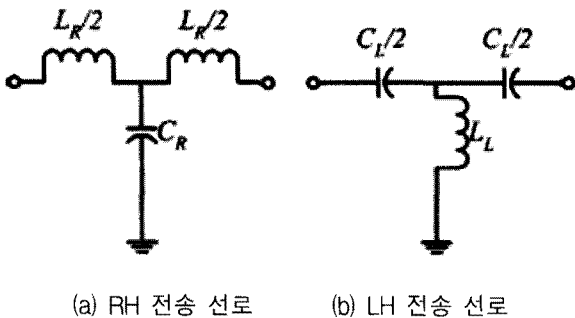


그림 1. 인공 RH와 LH 전송선로의 T-형태 단위 셀
Fig. 1. T-type unit cells of artificial RH and LH TLs.
(a) RH TL, (b) LH TL.

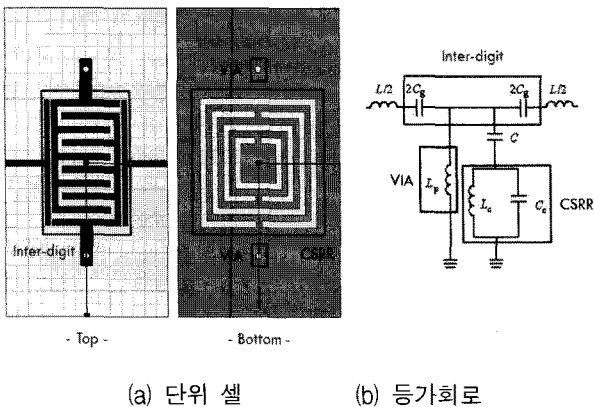


그림 2. 대역통과여파기의 단위 셀과 등가회로
Fig. 2. Bandpass filter (a) unit cell, (b) equivalent circuit.

기 위해 아랫면은 Composite Split Ring Resonator (CSRR) 구조로 이루어져 있으며 윗면과 아랫면을 연결하기 위해 via를 이용하였다. 그림 2의 (b)는 제안한 대역통과여파기의 단위 셀의 등가회로를 보여주고 있다. 이 때, 단위 셀의 크기는 $7\text{mm} \times 15\text{mm}^2$ 이다. 그림 3은 단위 셀로 이루어진 대역통과여파기의 s-parameter 특성을 보여주고 있다. 통과대역인 2.14GHz에서 0.12 dB의 삽입 손실과 저지대역인 4.28 GHz에서 10.25 dB의 저지특성을 보여주고 있다. 하지만, 이 구조로는 전력증폭기의 2차 고조파를 효율적으로 저지할 수 없기에 단위 셀이 아닌 세 개의 셀로 이루어진 대역통과여파기를 설계하였다.

그림 4는 3-cell로 이루어진 최종적으로 제안한 대역통과여파기의 구조를 보여주고 있다. 이 때, 대역통과여파기의 크기는 $21\text{mm} \times 15\text{mm}^2$ 이며 소형화를 이룰 수 있었다. 그림 5는 제안한 대역통과여파기의 s-parameter 특성을 보여주고 있으며, 통과대역인 2.14GHz에서 0.18 dB의 삽입손실과 저지대역인 4.28 GHz에서 48.5 dB의 저지특성을 보여주고 있다. 이는 단위 셀로 이루어진 대역통과여파기에 비해 저지대역에서 약 38 dB의 우수한 저지특성을 보여주고 있다.

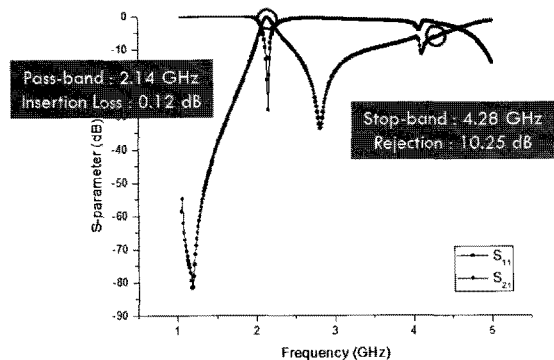


그림 3. 단위 셀의 S-parameter 특성
Fig. 3. S-parameter of unit cell.

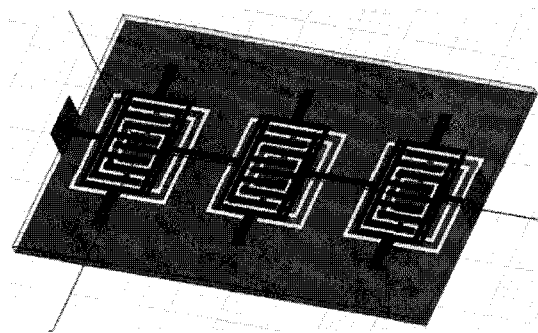


그림 4. 제안된 대역통과여파기
Fig. 4. Proposed bandpass filter.

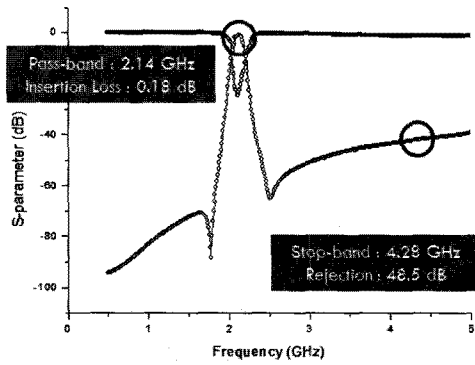


그림 5. 제안된 대역통과여파기의 S-parameter 특성
Fig. 5. S-parameter of proposed bandpass filter.

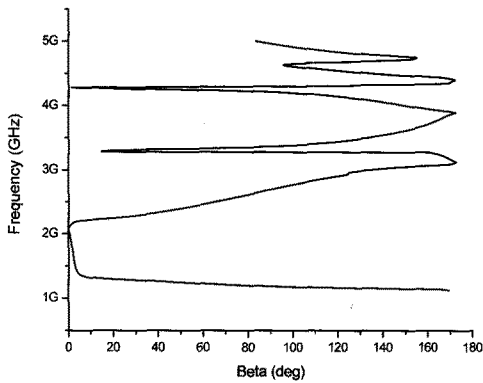


그림 6. 제안된 대역통과여파기의 위상계수
Fig. 6. Dispersion diagram.

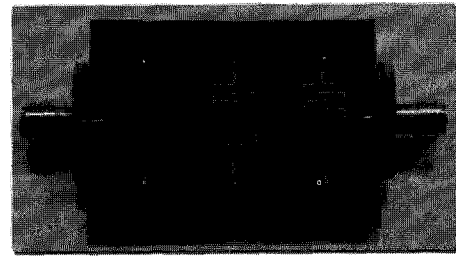
$$\beta = \cos^{-1} \left(\frac{1 - S_{11}S_{22} + S_{12}S_{21}}{2S_{21}} \right) \quad (1)$$

본 논문에서 제안한 구조가 CRLH의 특성을 가지고 있는지 확인하기 위해서 구조가 가는 s-parameter 특성을 이용하여 식 (1)을 검증할 수 있다. 이는 그림 6에서 특성을 보여주고 있다.

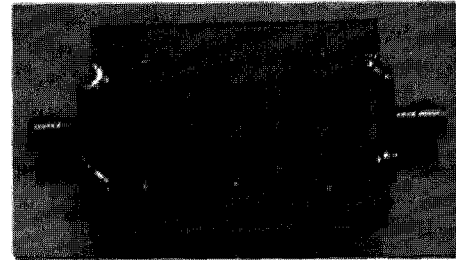
그림 6에서 보여주듯이 본 논문에서 제안한 대역통과여파기의 s-parameter 정보를 이용하여 위상정보를 분석한 결과 동작대역인 2.14 GHz 대역에서 본 논문에서 제안한 대역통과여파기는 위상특성이 LH 특성과 RH 특성을 동시에 가지고 있는 CRLH 특성을 보여주고 있다.

III. 제안된 전력증폭기

그림 7은 실제로 제작된 대역통과여파기의 사진을



(a)



(b)

그림 7. 제안한 대역통과여파기 구조
Fig. 7. Fabrication of the proposed bandpass filter.

보여주고 있다. 라인의 두께는 0.1mm 이며, 라인과 라인 사이의 공간 또한 역시 0.1mm 이다.

IV. 전력증폭기 구현 및 측정결과

그림 8은 제작된 전력증폭기의 사진을 보여주고 있으며, 그림 9는 출력전력 및 IMD₃ 특성을 보여주고 있다. 제안된 전력증폭기와의 특성 비교를 위하여 일반적인 전력증폭기를 제작하였다. 표 1에 제안된 전력증폭기의 측정 결과를 나타내었다.

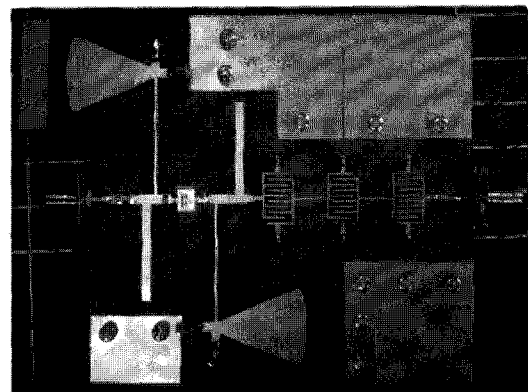


그림 8. CRLH 구조의 대역통과여파기를 이용한 이중대역 전력증폭기 구현 모습

Fig. 8. Fabrication of the proposed power amplifier using bandpass filter based on CRLH structure.

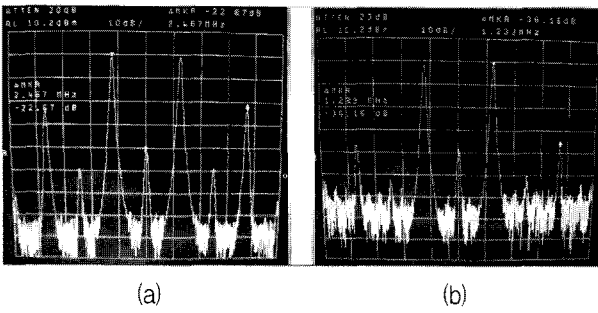


그림 9. 제안된 전력증폭기의 출력 전력 및 IMD3
 (a) 기준전력증폭기 (b) 제안한 전력증폭기
 Fig. 9. Output power and IMD3 of the power amplifier
 (a) Reference (b) Proposed power amplifier.

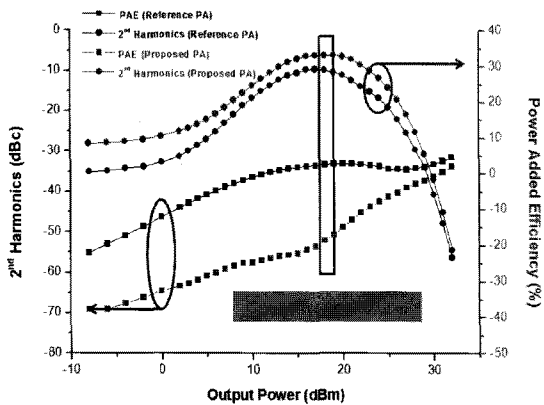


그림 10. 전력증폭기 특성 비교
 Fig. 10. Comparison of the power amplifier.

표 1. 전력증폭기의 측정 결과 및 비교
 Table 1. Comparison of the measured results of the power amplifier.

		Reference	Proposed
Output Power	dBm	33	33
2nd Harmonic	dBc	-34.425	-53.527
3rd IMD	dBc	-22.67	-36.16
PAE	%	32.73	33.14

그림 8은 제작된 전력증폭기의 사진을 보여주고 있다. 제안된 전력증폭기와의 특성 비교를 위하여 기준이 되는 전력증폭기를 제작하였으며, 그림 9는 각각의 전력증폭기의 출력전력 및 IMD3 특성을 보여주고 있다. 그림 10에 기준 전력증폭기와 제안한 전력증폭기의 2차 고조파 및 효율 특성을 나타내었다. 표 1에 제안된 전력증폭기의 측정 결과를 일반적인 전력증폭기와 비교하여 나타내었다.

V. 결 론

본 논문에서는 CRLH 구조의 대역통과여파기를 이용하여 선형성이 개선된 전력증폭기를 구현하였다. CRLH 구조를 이용한 대역통과여파기의 구조는 윗면에는 인터디지트 형태의 신호선으로, 아랫면에는 CSRR 형태의 구조로 이루어져 있으며, via를 통해 윗면과 아랫면이 연결되어 있다. 전력증폭기의 동작대역에서 손실을 최소화하고 CRLH 전송 선로를 이용하여 2차 고조파 성분을 제한시켜서 전력증폭기의 선형성을 개선하였다. 2.14 GHz에서 동작하는 전력증폭기의 측정된 출력 전력은 33 dBm 기준으로 2차 고조파는 -53.527 dBc, 3차 혼변조 신호는 -36.16 dBc, 부가전력효율은 33.14% 가 측정되었으며, 이는 기존의 전력증폭기에 비해 2차 고조파는 약 16 dB, 3차 혼변조 신호는 약 12 dB 개선되었다.

참 고 문 헌

- [1] S. C. Cripps, RF Power Amplifiers for Wireless Communications, MA: 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~현재 숭실대학교
 정보통신공학과(공학석사)
 2007년 3월~현재 숭실대학교
 정보통신공학과 박사과정

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



서 철 현(정회원)
 1983년 3월 서울대학교
 전자공학과 (공학사)
 1985년 3월 서울대학교
 전자공학과 (공학석사)
 1993년 3월 서울대학교
 전자공학과 (공학박사)

1993년~1995년 MIT 연구원
 1993년~1997년 숭실대학교 정보통신학과 조교수
 1999년 8월~2001년 1월 MIT 방문교수
 1997년~2004년 숭실대학교 정보통신 전자공학부
 부교수
 2005년~현재 숭실대학교 정보통신전자공학부
 교수

<주관심분야 : 이동 및 위성통신 Microwave 부
 품 및 시스템, PBG를 이용한 RF 부품>