

두 개의 링-공진기로 구성된 Balun-BPF의 설계

The Design of Balun-BPF with Double Ring-Resonators

강성준 · 황희용

Seong-Jun Kang · Hee-Yong Hwang

요약

본 논문에서는 평형 출력단간 출력 특성을 향상시키기 위하여 두 개의 링-공진기를 이용한 Balun-BPF의 구조를 제안한다. 기존의 Balun-BPF는 출력 포트의 대칭성 및 선택도의 측면에서 문제를 가지고 있었다. 기존 구조의 문제점을 해결하기 위한 두 개의 링-공진기의 적절한 커플링 위치를 제시한다. 제작된 Balun-BPF는 선택도가 향상되었고, 대칭적인 감쇄극 특성을 보였다.

Abstract

In this paper, we propose a double rings structure to improve the balanced-port characteristics of Balun-Bandpass Filter(Balun-BPF). The conventional Balun-BPF has limitations on output symmetry and skirt steepness. We introduce a double rings structure and the suitable coupling point between the two ring resonators to solve these problems. The fabricated double rings Balun-BPF shows excellent characteristics as a Balun-BPF without the conventional limitations.

Key words : Double Rings, Balun, BPF, Balun-BPF

I. 서론

최근 무선 랜, 블루투스, WiBro, DMB, GPS, UWB 등의 무선 통신 기술이 발달함에 따라 통신 모듈의 성능뿐만 아니라 소형화 및 집적화에 대한 중요성이 대두되고 있다. 현재 반도체 공정 기반의 집적 기술로 인해 능동 소자 집적 기술은 이미 보편화된 기술이 되었지만, 안테나, 여파기, 발룬, 커플러, 믹서 등의 수동 소자 집적 기술은 아직 많은 연구가 필요하고, 수동 소자의 집적도 및 성능의 차이가 곧바로 전체 시스템의 차이를 결정짓는 중요 요소가 되었다. 최근에 수동 소자들은 LTCC 기술이나 Embedded-PCB 기술을 이용하여 집적시킴으로써 전체 시스템의 소형화를 기대할 수 있지만, 이러한 기술들은 설계와 제작상의 많은 어려움을 갖고 있다^{[1]~[3]}. 이 수동 소자들 중에서 발룬은 초고주파 회로 상에서 믹

서나 증폭기 같이 평형 신호를 사용하는 부품과 불평형 신호를 입출력으로 하는 부품들의 상호 연결을 하는 소자로서 평형 출력 단간 동일한 전력 분배 특성과 180° 위상차 특성을 가지며 일반적으로 무선 통신 시스템 상에서 평형 신호를 필요로 하는 안테나나 저잡음 증폭기, 믹서 앞에 위치하게 된다^{[4]~[7]}. 그리고 초고주파 회로에서 안테나를 통해 들어온 신호는 여파기와 발룬으로 연결되어 LNA를 포함한 MIC 또는 MIC와 주파수 믹서 사이를 통과하는 것이 일반적이다. 따라서 이와 같이 혼히 직결되어 같이 쓰이는 여파기와 발룬의 합성은 전체적인 모듈의 크기의 소형화를 가져올 수 있으므로, 최근 발룬과 대역 통과 여파기를 단일 구조로 설계한 부품으로서 이중 모드 링-공진기를 이용한 Balun-BPF^{[2],[3]}가 제안되었고, 3단자 링-공진기의 해석을 통하여 링-구조 기반의 Balun-BPF의 설계식이 제안되었다^[8].

강원대학교 IT특성화학부대학(College of Information Technology, Kangwon National University)

· 논문 번호 : 20080523-10S

· 수정완료일자 : 2008년 7월 28일

하지만 기존의 Balun-BPF는 두 출력 포트 간 통과 대역 밖에서 비대칭적인 출력 특성을 보이기 때문에 Balun으로서 특성이 미흡하다. 그래서 두 개의 링-공진기를 결합하여 대칭적인 출력 특성을 갖고, 선택도가 향상된 Balun-BPF의 구조를 제안^[1]하였고, 본문에서는 실제 제작을 통하여 이론의 타당성을 검증한다.

II. Balun-BPF의 해석

2-1 기존 Balun-BPF

그림 1은 기존 단일 링-공진기^{[2],[3],[8]}를 이용한 Balun-BPF의 주파수 시뮬레이션 특성이다. 두 개의 평형 출력 포트 중 1개의 포트(선로의 폭이 넓은 쪽에 연결된 포트)에서만 감쇄극 특성을 갖기 때문에 통과 대역 밖에서 서로 다른 스킨트 특성을 보이고 있다. Balun은 평형 출력 포트 간 대칭적인 특성을 보여야 하기 때문에 Balun으로서의 특성이 미흡하다.

2-2 제안하는 Balun-BPF 구조

그림 2는 발룬의 출력 특성 향상을 위하여 제안된 Balun-BPF의 구조이다. 기존의 평형 출력을 갖는 단일 Balun-BPF 구조에 추가적으로 링-공진기를 결합한 구조이다.

그림 3은 추가된 링-공진기의 결합 구조에 따라 주파수 특성의 변화를 나타낸 것이다. 그림 3(a)와 같이 그림 2의 A부분을 통하여 링-공진기가 결합될 경우, 기존의 단일 Balun-BPF에서와 같이 한 쪽 포트에

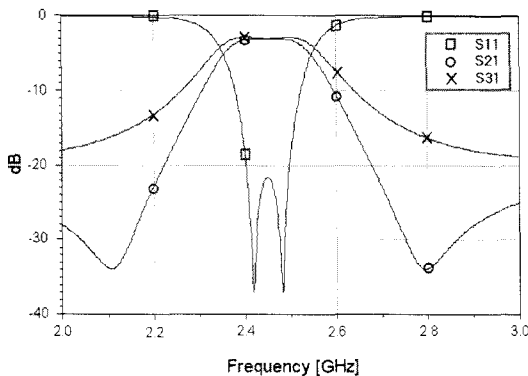


그림 1. 기존 Balun-BPF의 주파수 특성
Fig. 1. Frequency response of conventional Balun-BPF.

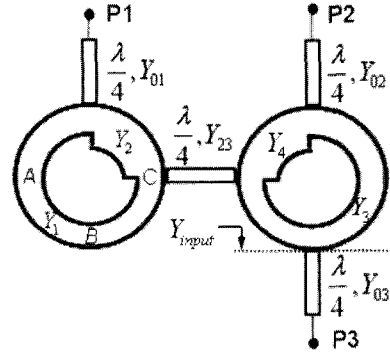


그림 2. 제안된 Balun-BPF의 구조도
Fig. 2. Structure of proposed Balun-BPF.

서만 감쇄극 특성을 보이고 있다. 그림 2의 B부분을 통하여 결합할 경우, 그림 3(b)와 같이 중심 주파수에서 감쇄극 특성이 나타났으며, 출력 포트 간 비대칭적인 감쇄극 특성을 보인다. 그림 2의 C의 위치에 결합할 경우, 그림 3(c)와 같이 대칭적인 감쇄극 특성을 보이며 4단 BPF의 특성을 보인다. 그림 2의 C의 위치는 단일 링-공진기에서 비대칭적인 감쇄극 특성을 갖는 출력 포트 중 감쇄극 특성을 보이는 출력 포트의 위치이다. 감쇄극 특성을 보이는 출력 위치로부터 오른쪽의 링-공진기는 입력을 받기 때문에 평형 출력 포트 모두에서 감쇄극 특성을 보이고 있다.

2-3 제안된 구조의 Balun-BPF의 해석

3단자 링-공진기의 슬로프 파라미터^[7]를 이용하면 2단자 링-공진기는 Y_{input} 부분이 0이 되기 때문에 식 (1)과 같이 두 개의 링-공진기의 슬로프 파라미터를 구할 수 있다.

$$b_3 = \frac{-\pi}{4} (3Y_3 + Y_4)$$

$$b_4 = \frac{-\pi}{4} \left(3Y_3 + Y_4 - 2 \frac{Y_{input}^2}{Y_3} \right) \quad (1-1)$$

$$b_1 = \frac{\pi}{4} (3Y_1 + Y_2)$$

$$b_2 = \frac{\pi}{4} (3Y_1 + Y_2) \quad (1-2)$$

여기서 $Y_{input} = Y_0^2 / Y_0$ 이고, Y_0 는 P3의 어드미턴스이다. 또한 두 개의 링-공진기의 인버터 값은 (2)와 같다^[8].

$$J_{12}|_{\omega = \omega_0} = |Y_1 - Y_2|$$

$$J_{34}|_{\omega = \omega_0} = |Y_3 - Y_4| \quad (2)$$

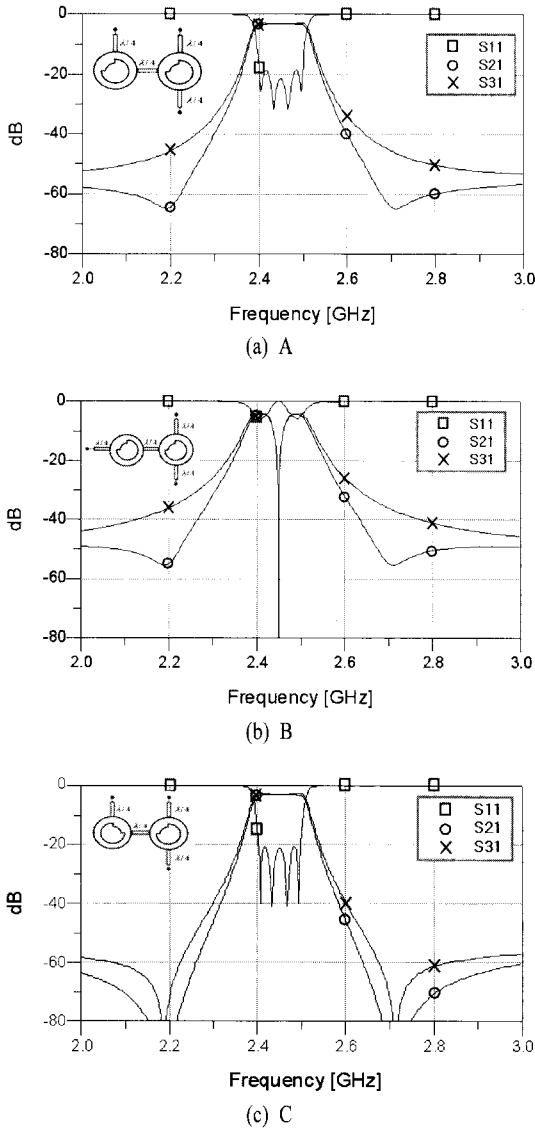


그림 3. 그림 1의 링-공진기의 결합 위치에 따른 주파수 특성
 Fig. 3. Frequency response of Fig. 1 for each coupling point.

제안된 Balun-BPF의 등가회로인 그림 4와 일반적인 인버터 식 (3)과 식 (1), (2)를 이용하면 제안된 구조의 Balun-BPF를 설계할 수 있다. 식 (3)의 2번째 식은 Balun-BPF의 구조상 2개의 여파기 성분으로 구성되어 있기 때문에 일반적인 인버터 관계식이 $\sqrt{2}$ 로 나누어져 있다^[9].

III. 설계 및 측정 결과

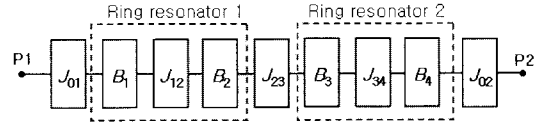


그림 4. 제안된 Balun-BPF의 등가 회로
 Fig. 4. Equivalent circuit of proposed Balun-BPF.

$$\begin{aligned}
 J_{01} &= \sqrt{\frac{\omega b_1 Y_0}{g_0 g_1}} \\
 J_{02} &= \sqrt{\frac{\omega b_4 Y_0}{2g_4 g_5}} \\
 J_{i,i+1} &= \omega \sqrt{\frac{b_i b_{i+1}}{g_i g_{i+1}}} \quad i=1,2,3 \quad (3)
 \end{aligned}$$

3-1 Balun-BPF의 설계

표 1은 위에서 구한 설계식을 이용하여 $f_0=2.45$ GHz, $BW=100$ MHz, $ripple=0.03$ dB의 특성을 갖는 Balun-BPF를 설계한 값이다. 설계된 수치는 ADSTM를 이용하여 시뮬레이션한 결과, 그림 5와 같이 설계치와 거의 일치하였다.

3-2 중간단 커플링 구조

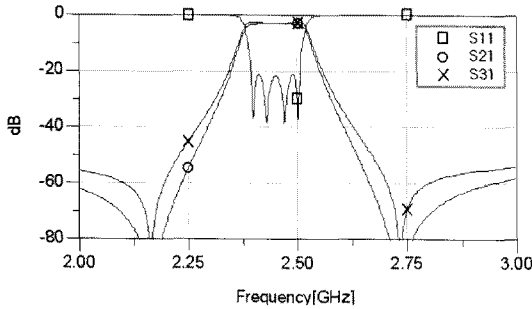
설계와 특성 파악에 용이한 $\lambda/4$ 전송 선로 인버터를 이용하여 구현하려고 하였으나, 중간단 어드미턴스 인버터의 값이 작아 전송 선로 인버터로 구현이 불가능하다. 본 논문에서는 중간단 인버터 구현을 위하여 그림 6(a)의 전송 선로를 그림 6(b)의 π -형 등가회로로 변환하여 집중 소자를 이용하여 구현하였다. 중간단 어드미턴스 인버터 값 0.0048에 대응하는 집중 소자의 값은 표 2와 같다.

표 1. Balun-BPF의 설계 파라미터
 Table 1. Design parameters of Balun-BPF.

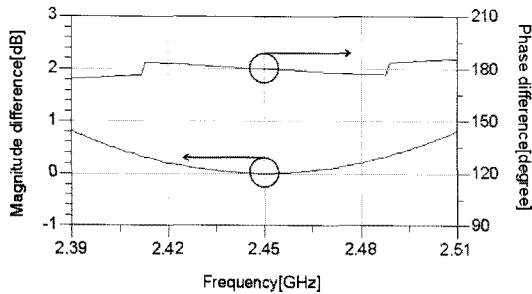
J_{01}	J_{12}	J_{23}	J_{34}	J_{02}, J_{03}
0.0123	0.0063	0.0048	0.0063	0.0087
Y_1	Y_2	Y_3	Y_4	
0.0500	0.0563	0.0500	0.0563	

표 2. 중간단 인버터의 집중 소자 값
 Table 2. Values of lumped elements for J_{23} .

J_{23}	C_s	L_p
0.0048	0.3099 pF	13.6160 nH

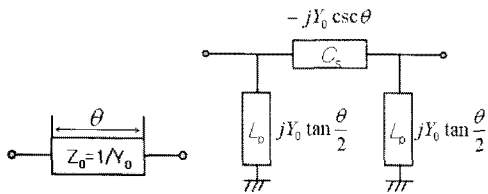


(a) S-파라미터
(a) S-parameter



(b) 출력 포트 간 전력 분배차와 위상차
(b) Difference of magnitude and phase

그림 5. 설계된 Balun-BPF의 주파수 시뮬레이션 특성
Fig. 5. Simulated frequency response of designed Balun-BPF.



(a) 전송선로의 등가회로 (b) 전송선로의 π -형 등가회로
(a) Equivalent circuit of transmission line (b) π -type equivalent circuit of transmission line.

그림 6. 전송 선로의 π -형 등가회로
Fig. 6. π -type equivalent circuit of transmission line.

공진기 간의 교차 결합 성분을 줄이고 링-공진기의 slope 파라미터의 변화를 최소화한 상태에서 집중 소자를 결합하기 위하여 그림 7과 같이 집중 소자의 양쪽에 $2.325 \times 0.3 \text{ mm}^2$ 작은 패드를 추가하였다.

추가된 패드의 영향으로 중간단 인버터의 집중 소자의 값이 변화하였다. 회로 시뮬레이션인 ADSTM를 이용하여 시뮬레이션 한 결과 표 3과 같은 집중 소자의 값을 얻었다. 설계된 C_s 의 값이 너무 작아서

표 3. 패드가 추가된 중간단 인버터의 집중 소자 값
Table 3. Values of lumped elements for J_{23} added small pads.

C_s	L_p
0.3200 pF	8.8000 nH

측정치 0.6 pF의 캐패시터를 2개 직렬로 연결하여 구현하였으며, 측정치 7.97 nH의 인덕터를 이용하여 L_p 를 구현하였다.

3-3 제작 및 측정 결과

중심 주파수 2.45 GHz, ripple 0.03 dB, Bandwidth 100 MHz로 Balun-BPF를 설계하였다. Agilent社의 ADSTM를 사용하여 시뮬레이션 하였고, 유전율=3.38, 기판 두께=0.762 mm, 유전체 손실=0.0042인 WINUS社의 IS640 기판을 사용하여 제작하였다. Anritsu社의 VNA 37397C를 이용하여 측정하였다. 그림 7은 제작된 Balun-BPF이고, 그림 8은 제작된 Balun-BPF의 주파수 특성 시뮬레이션 및 측정 그래프이다. 시뮬레이션 과정에서 링-공진기 간의 교차 결합을 고려하기 위하여 링-공진기의 교차 결합 부분을 $\lambda/24$ 길이의 6개 커플링 선로로 구현하였다. 그림 8(a)와 같이 선택도가 향상되고 출력 포트 간 대칭적인 감쇄 특성을 보여 출력 특성이 향상되었다. 하지만 중간단 인버터의 제작상의 오차와 집중 소자의 사용으로 통과 대역의 특성이 미흡하다. 교차 결합의 영향은 다층 구조를 이용하여 없앨 수 있을 것으로 생각된다.

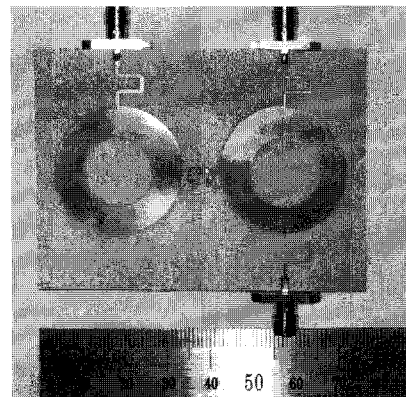
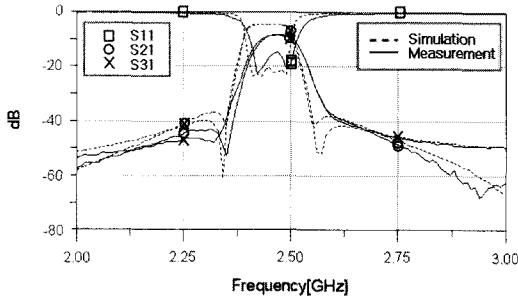
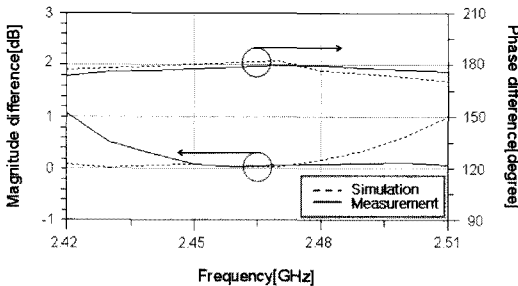


그림 7. 제작된 Balun-BPF
Fig. 7. Fabricated Balun-BPF.



(a) 주파수 특성
(a) S-parameter



(b) 출력 포트 간 전력 분배차와 위상차 특성
(b) Differences of magnitude and phase

그림 8. 제작된 Balun-BPF의 시뮬레이션 및 측정 결과
Fig. 8. Simulated and measured result of fabricated Balun-BPF.

두 포트 간 출력차는 그림 8(b)와 같이 통과 대역 내에서 1 dB 이내의 전력 분배 특성차를 나타내었고, 위상차는 집중 소자의 사용과 제작상의 오차로 통과 대역 내에서 173~180°의 위상차를 보였다.

IV. 결론

기존의 단일 링-공진기의 Balun-BPF에 링-공진기를 결합하여 평형 출력 포트 간 대칭적인 출력 특성을 갖는 Balun-BPF를 제안하였다. 제안된 Balun-BPF는 4단 BPF의 특성을 나타내며 향상된 선택도를 보였다.

하지만 전송 선로 인버터 사용시 높은 임피던스를 나타내기 때문에 전계 결합 구조를 이용하는 것이 적절할 것으로 생각된다.

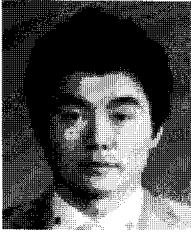
이런 Balun-BPF 기술은 블루투스에서와 같이 안테나와 평형 입력을 요구하는 LNA, 또는 평형 입력

을 요구하는 안테나와 전력 증폭기 사이 등에 적용 가능하고, LTCC 기술 또는 Embedded-PCB 기술, MM-IC 기술 등을 이용하여 더욱 집적시킴으로써 실질적 적용성과 전체 시스템의 소형화에 도움을 줄 것이다.

참고 문헌

- [1] 강성준, 황희용, "두 개의 링-공진기를 이용한 Balun-BPF의 설계", 춘계 마이크로파 및 전파전파 학술대회 논문집, 31(1), pp. 325-328, 2008년 5월.
- [2] 정을영, 황희용, "이중 모드 링 공진기를 이용한 Balun-BPF의 설계", 한국전자파학회논문지, 17(12), pp. 1206-1211, 2006년 12월.
- [3] Eul-Young Jung, Hee Yong Hwang, "A Balun-BPF using a dual mode ring resonator", *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, vol. 17, no. 9, pp. 652-654, Sep. 2007.
- [4] N. Marchand, "Transmission line conversion transformers", *Electronics*, vol. 17, pp. 142-145, Dec. 1944.
- [5] 이병화, 박동석, 박상수, "새로운 3-라인 발룬 설계", 한국전자파학회논문지, 14(7), pp. 750-754, 2003년 7월.
- [6] 이종환, 염경환, "결합선로를 이용한 평판 구조의 Marchand 발룬의 합성", 한국전자파학회논문지, 16(2), pp. 161-166, 2005년 2월.
- [7] Dae-won Lew, Jun-Seok Park, Dal Ahn, Nam-Kee Kang, Chan Sei Yoo, and Jae-Bong Lim, "A design of the ceramic chip balun using the multilayer configuration", *IEEE Trans. Microwave Theory and Techniques*, vol. 49, no. 1, pp. 220-224, Jan. 2001.
- [8] 강성준, 황희용, "Balun-BPF 특성 구현을 위한 3-단자 링-공진기의 해석", 한국전자파학회논문지, 19(4), pp. 436-441, 2008년 4월.
- [9] Lap Kun Yeng, Ke-Li Wu, "A dual-band coupled-line balun filter", *IEEE Trans. Microw. Theory Tech.*, vol. 55, no. 11, pp. 2406-2411, Nov. 2007.

강 성 준



2007년 2월: 강원대학교 IT특성화
대학 전기전자공학과 (공학사)
2007년 3월~현재: 강원대학교 전
기전자공학과 석사과정
[주 관심분야] 초고주파 수동 소자

황 희 용*



1992년 2월: 서울대학교 전자공학
과 (공학사)
1995년 2월: 서강대학교 전자공학
과 (공학석사)
2000년 2월: 서강대학교 전자공학
과 (공학박사)
2001년 3월~2002년 4월: University
of Maryland Research Scholar
2002년 5월~2003년 4월: (주)아모텍 연구소장
2003년 2월~현재: 강원대학교 IT특성화학부대학 전기전
자공학전공 부교수
[주 관심분야] RF, Microwave, Millimeter Wave 분야의 부
품 및 시스템
*책임저자