

# 두 개의 링-공진기를 갖는 Balun-BPF의 소형화

## Miniaturization of Dual Ring Balun-BPF

강 성 준 · 황 희 용

Seong-Jun Kang · Hee-Yong Hwang

### 요 약

본 논문에서는 semi-lumped line을 이용하여 기존의 두 개의 링-공진기로 구성된 Balun-BPF를 소형화 시켰다. 기존의 Ring Balun-BPF는 두 개의 링 공진기의 사용, 손실을 줄이기 위한 임피던스가 낮은 선로의 사용과  $\lambda/4$  전송선로 인버터의 사용으로 회로의 면적이 크다는 문제점을 가지고 있다. Semi-lumped line 구조를 이용하여 링 공진기를 소형화 하였고, 용량성 성분의 보충을 위하여 링 공진기 안쪽에 삼각형 패치를 추가해 줌으로써 구조적 효율성을 높여주었다. 제작된 balun-BPF는 평형 출력단간 대칭적인 출력 특성을 보였으며, 1/4로 소형화 되었다.

### Abstract

In this paper, we proposed a miniaturized Balun-BPF structure using semi-lumped line. The conventional Ring Balun-BPF relatively has a big size structure because they consist of two ring resonators, wide line width ring-resonators for low loss and  $\lambda/4$  transmission line inverters. The ring resonators are miniaturized to 1/4 size by semi-lumped line and we added triangle patches in the ring resonator for compact Balun-BPF structure. The fabricated Balun-BPF is miniaturized to 1/4 size and contains symmetrical output characteristics of balance ports.

Key words : Dual Ring, Balun-BPF, Miniaturization

### I. 서 론

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 기

술들은 설계와 제작상의 많은 어려움을 갖고 있다 [1],[2]. 이 수동 소자들 중에서 발룬은 초고주파 회로 상에서 믹서나 증폭기같이 평형 신호를 사용하는 부품과 불평형 신호를 입출력으로 하는 부품들의 상호 연결로서 특정 주파수 영역에서 두 출력단이 같은 크기와 180° 위상차를 가지며, 보통 안테나나 저잡음 증폭기, 믹서 등과 연결된다<sup>[3]~[6]</sup>. 그리고 초고주파 회로에서 안테나를 통해 들어온 신호는 여파기와 발룬으로 연결되어 LNA를 포함한 MIC 또는 MIC와 주파수 믹서 사이를 통과하는 것이 일반적이다. 따라서 이와 같이 흔히 직결되어 같이 쓰이는 여파기와 발룬의 합성은 전체적인 모듈의 크기의 소형화를 가져올 수 있으므로, 최근 발룬과 대역 통과 여파기의 집적화에 대한 연구가 다수 진행되

강원대학교 IT특성화 학부대학(College of Information Technology, Kangwon National University)

· 논문 번호 : 20081128-11S

· 수정완료일자 : 2009년 2월 11일

있고<sup>[7],[8]</sup>, 발문과 대역 통과 여파기를 단일 구조로 설계한 부품에 대한 연구가 다양하게 진행되고 있다<sup>[9]~[13]</sup>. 구조적으로 간단한 이중 모드 링-공진기를 이용한 balun-BPF<sup>[1],[2]</sup>가 제안되었고, 3단자 링-공진기의 해석을 통하여 링-구조 기반의 balun-BPF의 설계식이 제안되었다<sup>[12]</sup>. 또한, 단일 링-공진기에서 발생하는 평형 출력 포트간 비대칭적인 출력특성을 보완하기 위하여 두 개의 링-공진기가 결합된 형태의 balun-BPF가 제안되었다<sup>[13],[14]</sup>.

하지만  $\lambda$  길이를 갖는 링-공진기 2개의 결합으로 소자의 크기가 커진다는 문제점을 가지고 있다. 본 논문에서는 semi-lumped line<sup>[15],[16]</sup>을 이용하여 링-공진기의 면적을 줄임으로서 기존의 대칭적인 출력 특성은 유지한 상태에서 소형화된 balun-BPF의 구조를 제안한다.

## II. Balun-BPF의 해석

### 2-1 기존 Balun-BPF

그림 1은 두 개의 링-공진기가 결합된 대칭적인 출력 특성을 갖는 링 balun-BPF의 구조이다. 그림 2와 같이 두 개의 링 공진기의 결합으로 4단 여파기의 특성을 보이며 대칭적인 출력 특성을 보이고 있으나, 두 개의 링-공진기의 결합으로 상대적으로 구조가 크다는 문제점을 가지고 있다. 본 논문에서는  $\lambda$  길이의 링-공진기를 4개의  $\lambda/4$  선로로 분리하고, 각각의  $\lambda/4$  선로를 semi-lumped line 구조로 변환하여 소형화된 링-공진기의 구조를 제시한다.

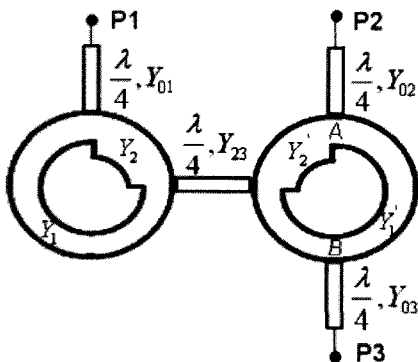
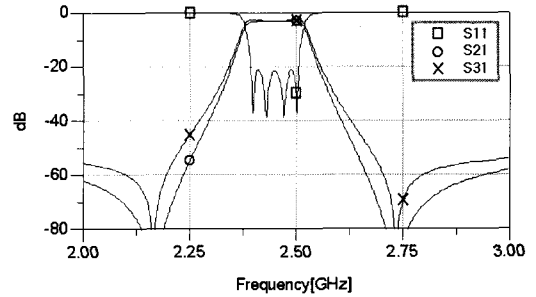
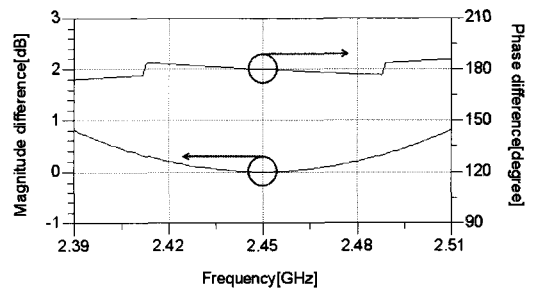


그림 1. 기존 2개의 링-공진기를 이용한 balun-BPF  
Fig. 1. Structure of conventional dual-ring balun-BPF.



(a) S-파라미터  
(a) S-parameter



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

그림 2. 기존 balun-BPF의 주파수 시뮬레이션 특성  
Fig. 2. Simulated frequency response of conventional Balun-BPF.

### 2-2 Semi-Lumped Line을 이용한 Balun-BPF

그림 3과 같이 전송 선로는  $\pi$ -형 등가 회로로 변환이 가능하며 둘의 관계는 식 (1)과 같다<sup>[15]</sup>.

$$X = Z_0 \sin \theta \quad (1-1)$$

$$\frac{B}{2} = Y_0 \tan \frac{\theta}{2} \quad (1-2)$$

전송선로는 저역 통과 여파기의 특성을 갖고 있

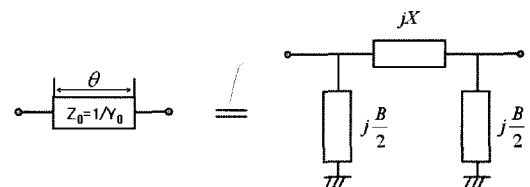


그림 3. 전송 선로의  $\pi$ -형 등가 회로  
Fig. 3.  $\pi$  equivalent circuit of transmission line.

기 때문에 그림 3의 등가 회로를 집중 소자로 나타내면 직렬 L과 병렬 C성분으로 표현할 수 있다. 여기서 직렬 L성분은 다시 식 (1-1)을 이용하면 높은 임피던스를 갖는 전송 선로로 변환이 가능하다. 즉, 두꺼운 선로의 경우, 높은 임피던스의 선로와 병렬 C의 구조로 바꿀 수 있다. 또한, 식 (1)과 같이 동일한 리액턴스 값이 필요할 경우 변환되는 선로의 임피던스가 높을수록 선로의 길이가 짧아지는 특성이 있기 때문에 이를 이용하면 전송선로로 구성된 회로의 소형화가 가능하다<sup>[5],[6]</sup>. 이를  $\lambda$  길이의 전송 선로 구성된 balun-BPF의 링-공진기에 적용하여 링-공진기를 소형화 한다. 그림 4는 그림 1의  $\lambda$  길이의 링-공진기 중  $\lambda/4$ 의 길이의 선로를  $\pi$ 형 등가 회로로 나타낸 후 semi-lumped line 구조로 변경한 등가 회로도이다. semi-lumped line 구조로 변경하면서 추가적인  $C_a$ 가 생겨 기존의  $C_1$ 에서 빼주어야 등가가 된다. 집중소자 C는 balun-BPF의 손실을 줄이고, 효율적인 공간활용을 위하여 삼각형 패치를 이용하여 구현하고자 하였다. 그림 3의  $\pi$ 형 등가회로를 이용하여 semi-lumped line으로 변환시 링-공진기의 병렬 C부분이 초단과 종단의 인버터와 연결되어 capacitive coupling을 이용하여 인버터를 설정할 경우 병렬 C를 줄여주는 과정으로 결합이 가능하다.

### 2-3 Balun-BPF의 설계 및 제작

표 1은  $f_0=2.45$  GHz, BW=100 MHz, ripple=0.03 dB의 특성을 갖는 balun-BPF를 설계한 값이다<sup>[12]</sup>. 설계의 편의를 위하여  $Y_1$  선로와  $Y_1'$  선로의 임피던스는 50  $\Omega$ 으로 정한 후 ring balun-BPF의 어드미턴스 슬로프 파라미터 식 (2)와 링-공진기의 인버터 식 (3)과 일반적인 인버터 관계식 (4)를 이용하여 설계하였다<sup>[12]</sup>.  $J_{0n}$ 은 그림 1의  $Y_{0n}$ 과 같고 각각의 어드미턴스 인버터 값을 나타내며,  $Y_{input}$ 은 그림 1의 A, B지점에서 포트를 바라본 어드미턴스 값이고 중심주파수에서

발룬의 특성을 만족하기 위해서는 같은 값을 갖는다.

$$\begin{aligned} b_1 &= \frac{\pi}{4}(3Y_1 + Y_2) \\ b'_1 &= \frac{\pi}{4}(3Y_1 + Y_2) \\ b_2 &= \frac{\pi}{4}(3Y_1 + Y_2) \\ b'_2 &= \frac{\pi}{4}\left(3Y_1 + Y_2 - 2\frac{Y_{input}^2}{Y_1}\right) \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} J_{12}|_{\omega=\omega_0} &= |Y_1 - Y_2| \\ J_{34}|_{\omega=\omega_0} &= |Y_1 - Y_2| \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} J_{01} &= \sqrt{\frac{\omega b_1 Y_0}{g_0 g_1}} \\ J_{02} &= \sqrt{\frac{\omega b_2 Y_0}{2g_4 g_5}} \\ J_{i, i+1} &= \frac{-\sqrt{b_i b_{i+1}}}{\omega \sqrt{g_i g_{i+1}}} \Big|_{i=1,2,3} \end{aligned} \quad (4)$$

저자는 완성된 링-공진기의 구조를 고려하여 임의로 전기적 길이 90° 선로를 60°로 소형화 하였다. (1-1)을 사용하여 표 2와 같은 선로의 임피던스 값을 구하였다. 여기서  $Z_{ln}$ 은 semi-lumped line으로 변환된 선로의 임피던스이고 선로로 변경되면서 생긴 추가적인 C값은  $Z_{h1}$ 선로의 경우 0.64961 pF,  $Z_{h2}$ 선로의 경우 0.73126 pF이다. 또한, 그림 5의 두 개의  $Z_{in}$ 을 같게 해주는 과정을 통하여 식 (5)를 구할 수 있고, 식 (5)와 표 1을 이용하여 표 3의 초단과 종단의 인버터 값들을 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} C_{0n}' &= J_{0n} / (\omega_0 \sqrt{1 - (J_{0n} Z_0)^2}) \\ C_{0n}^e &= -C_{0n}' / (1 + (\omega_0 C_{0n}' Z_0)^2) \end{aligned} \quad (5)$$

여기서  $\omega_0$ 는 각 중심주파수이고,  $Z_0$ 는 포트 임피던스이다.

설계된 수치와 표 3을 이용하여 그림 6과 같이 회로 시뮬레이션인 ADS™를 이용하여 시뮬레이션한

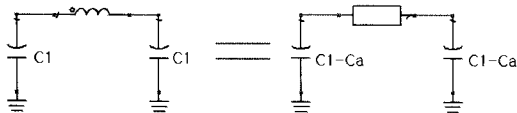


그림 4. L의 semi-lumped line 변환 등가회로  
Fig. 4. Equivalent circuit of L for semi-lumped line.

표 1. Balun-BPF의 설계파라미터  
Table 1. Design parameters of Balun-BPF.

$J_{01}$	$J_{12}$	$J_{23}$	$J_{34}$	$J_{02}, J_{02}$
0.0078	0.0025	0.0019	0.0025	0.0055
$Y_1$	$Y_2$	$Y_1'$	$Y_2'$	
0.0200	0.0225	0.0200	0.0225	

표 2. 선로길이 변화에 따른 선로 임피던스 변화  
Table 2. Variation of impedance values for each transmission line length's variation.

선로	$Z_1$	$Z_2$	$Z_1'$	$Z_2'$
$\Omega$	50.00	44.42	50.00	44.42
선로	$Z_{h1}$	$Z_{h2}$	$Z_{h1}$	$Z_{h1'}$
$\Omega$	57.74	51.29	57.74	51.29

표 3. 초단과 종단 C 값  
Table 3. Values of C for first and last stage inverter.

	$C_{01}$	$C_{01}^e$	$C_{02}$	$C_{02}^e$
pF	0.55081	-0.46689	0.37250	-0.34421

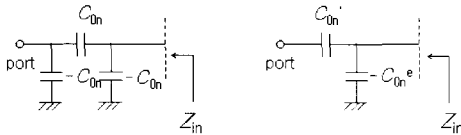


그림 5. 초단 인버터 형태의 변환  
Fig. 5. Transformation of first stage inverter parameter.

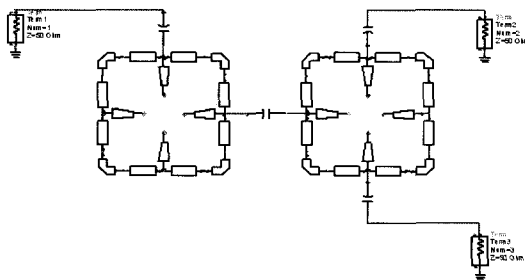
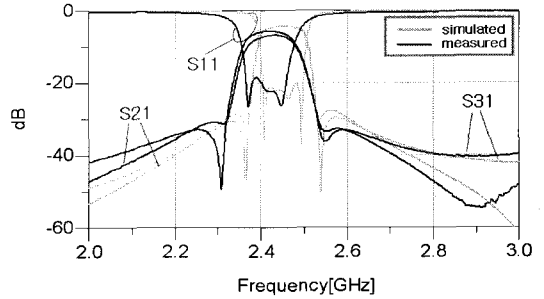
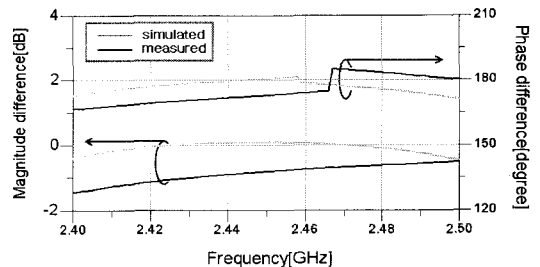


그림 6. Balun-BPF의 시뮬레이션 회로도  
Fig. 6. ADS simulation schematic of Balun-BPF.

결과, 그림 7과 같이 설계치와 거의 일치하였고, balun의 특성도 만족하고 있는 것을 확인하였다. 링 공진기간의 교차결합을 구현하기 위하여 두 개의 전기적 길이 30°의 커플드 라인을 이용하여 구현하였고 선로간의 간격은 4 mm로 하였다. 실제 제작 과정에서 각 단의 인버터들은 그림 8(b)와 같이 인터디지털 결합 구조를 이용하여 구현하였다. 제작 결과, 그림 8(b)와 같이 1/4 크기로 링-공진기를 소형화 하였으며, 그림 7과 같이 4단 여파기의 특성을 보이며



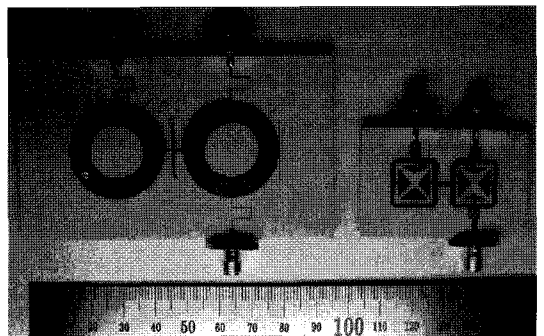
(a) 주파수 특성  
(a) S-parameter



(b) 전력분배 및 위상차 특성  
(b) Magnitude and phase difference

그림 7. 시뮬레이션 및 측정 결과  
Fig. 7. Simulated and measured result.

좋은 스키투 특성을 보였고, 발룬의 특성도 만족하였다. 하지만, 제작상의 오차로 중심주파수가 2.42 GHz로 낮아지고, 대역폭이 다소 넓어지는 특성을 보였다. 삽입손실은 3.2 dB 이하로 나타났다.



(a) 기존의 두 개의 링-공진기를 이용한 구조<sup>[14]</sup>  
(a) Conventional dual ring balun-BPF<sup>[14]</sup>  
(b) 소형화된 두 개의 링-공진기를 이용한 구조  
(b) Miniaturized dual ring balun-BPF.

그림 8. Balun-BPF의 구조  
Fig. 8. Balun-BPF structure.

### III. 결 론

Semi-lumped line을 이용하여 balun-BPF의 면적을  $48 \times 63 \text{ mm}^2$ 에서  $22 \times 34 \text{ mm}^2$ 로 약 75 % 소형화 하였으며, 집중소자 C를 대신하여 balun-BPF의 손실을 줄이고 구조적 효율성을 높이기 위하여 삼각 패치를 링 공진기 안쪽에 추가해 주었다. 제작된 balun-BPF는 기존의 출력 특성을 모두 유지하여 4단 여파기의 특성과 평형 출력단간 대칭적인 출력 특성을 보였다. 이런 balun-BPF 기술은 블루투스에서와 같이 안테나와 평형 입력을 요구하는 LNA, 또는 평형 입력을 요구하는 안테나와 전력 증폭기 사이 등에 적용 가능하고, LTCC 기술 또는 Embedded-PCB 기술, MMIC 기술 등을 이용하여 더욱 집적시킴으로써 실질적 적용성과 전체 시스템의 소형화에 도움을 줄 것이다.

### 참 고 문 헌

[1] 정을영, 황희용, "이중모드 링 공진기를 이용한 Balun-BPF의 설계", 한국전자과학회논문지, 17(12), pp. 1206-1211, 2006년 12월.

[2] 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.

[3] N. Marchand, "Transmission line conversion transformers", *Electronics*, vol. 17, pp. 142-145, Dec. 1944.

[4] 이병화, 박동석, 박상수, "새로운 3-라인 발룬 설계", 한국전자과학회논문지, 14(7), pp. 750-754, 2003년 7월.

[5] 이종환, 염경환, "결합선로를 이용한 평판 구조의 Marchand 발룬의 합성", 한국전자과학회논문지, 16(2), pp. 161-166, 2005년 2월.

[6] 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.

[7] Min Cheol Park, Byoung Hwa Lee, and Dong Seok

Park, "A laminated balance filter using LTCC technology", *Microwave Conference Proceedings, APMC 2005*, p. 4, vol. 5, Dec. 2005.

[8] Sergiy Sakhnenko, Denys Orlenko, Kostyantyn Markov, Andriy Yatsenko, Borys Vorotnikov, Georgiy Sevskiy, Patric Heide, and Martin Vossiek, "Low profile LTCC balanced filter based on a lumped elements balun for WiMAX applications", *Microwave Symposium Digest, 2008 IEEE MTT-S International*, pp. 1111-1114, Jun. 2008.

[9] L. K. Yeung, K.-L. Wu, "An integrated RF balanced-filter with enhanced rejection characteristics", in *IEEE MTT-S Int. Microw. Symp. Dig.*, vol. 2, pp. 713-716, 2005.

[10] 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.

[11] Kun-Tzu Chen, Shyh-Jong Chung, "A novel compact balanced-to-unbalanced low-temperature co-fired ceramic bandpass filter with three coupled lines configuration", *IEEE Trans. Microw. Theory Tech.*, vol. 56, no. 7, pp. 1714-1720, Jul. 2008.

[12] 강성준, 황희용, "Balun-BPF 특성구현을 위한 3-단자 링-공진기의 해석", 한국전자과학회논문지, 19(4), pp. 436-441, 2008년 4월.

[13] 강성준, 황희용, "두 개의 링-공진기로 구성된 Balun-BPF의 설계", 한국전자과학회논문지, 19(8), pp. 878-883, 2008년 8월.

[14] Seong-Jun Kang, Hee-Yong Hwnag, "Dual ring balun-BPF with improved balanced-port characteristics", *Microwave Journal*, will be published in 2009.

[15] G. L. Matthaei, L. Young, and E. M. T. Jones, *Microwave Filters Impedance Matching Networks and Coupling Structures*, Artech House Inc., 1980.

[16] Jyh-Wen Sheen, "A compact semi-lumped low-pass filter for harmonics and spurious suppression", *IEEE Microwave and Guided Wave Letters*, vol. 10, no. 3, pp. 92-93, Mar. 2000.

강 성 준



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

항 희 용



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