

---

# 전력 분배기와 위상 변환기를 이용한 광대역 스트립라인 발룬에 관한 연구

이창석\*, 박응희\*

A study on wideband strip-line balun using a power divider and a phase converter

Chang-Seok Lee\*, Ung-Hee Park\*

---

이 논문은 강원대학교 2007학년도 자체학술연구비에 의하여 연구되었음.

---

## 요 약

본 논문에서는 광대역 특성을 갖는 스트립라인 발룬을 설계 및 제작하였다. 제안된 스트립라인 발룬은 광대역 특성을 위하여 월킨슨 전력 분배기와 두 개의 광대역 위상 변환기로 구성된다. 광대역 발룬의 설계 주파수 대역은 500~1500 MHz 대역이고, 발룬 특성은 반사계수( $S_{11}$ ) -10 dB 이하, 결합 손실이 -0.05 dB 이하가 되게 하기 위하여 세기차  $\pm 0.5$  dB 이내, 위상차  $180 \pm 10$ 도 이내를 목표로 하였다. 제작된 광대역 스트립라인 발룬은 폭 12 mm, 길이 220 mm, 두께 2.3 mm로 크기를 가졌으며, 제작된 발룬 특성은 500~1500 MHz 대역에서 반사계수( $S_{11}$ ) -10 dB 이하, 위상차 약  $180 \pm 8$ 도 이내, 세기차 약  $\pm 0.7$  dB 이내, 신호 손실 약 -2 dB를 보였다.

## ABSTRACT

This paper presents an wideband stripline balun. And, the proposed balun is composed of one power divider and two phase converters on stripline substrate. The target characteristics of the proposed balun is the combination loss of below -0.05 dB, an amplitude imbalance of  $\pm 0.5$  dB and a phase imbalance of  $180 \pm 10$  degrees, with the reflection coefficient( $S_{11}$ ) of below -10 dB over frequencies ranging from 500 to 1500 MHz. The fabricated balun occupies the area of  $12(W) \times 220(L) \times 2.3(T)$  mm<sup>3</sup>. Experimental measurement shows that the fabricated balun has an amplitude imbalance of  $\pm 0.7$  dB, a phase imbalance of  $180 \pm 8$  degrees and an insertion loss of about -2 dB with the reflection coefficient( $S_{11}$ ) of below -10 dB over frequencies ranging from 500 to 1500 MHz.

## 키워드

발룬, 광대역 발룬, 스트립라인 발룬

## I. 서론

발룬은 트랜스포머의 한 종류로서 한 개의 언발란스드 단자와 두 개의 발란스드 단자에서의 신호 전달을 기

본 기능으로 한다. 발룬은 다이폴 안테나와 같이 두 개의 180도 위상차를 갖는 단자와 시스템으로 연결되는 하나의 단자 또는 푸쉬풀(Push-pull) 증폭기와 같이 180도 위상차를 갖는 입출력 단자로의 신호 공급과 출력 전력을

결합하는 경우에 주로 사용된다. 광대역 발룬은 넓은 주파수 대역에서 하나의 소자로서 발란스드 단자와 언발란스드 단자를 연결할 수 있어서, 광대역 다이폴 안테나 또는 광대역 전력 증폭기 소자에 적용 가능하다.

현재 초고주파 분야에서는 다양한 형태의 발룬이 사용되고 있다[1][2]. 코어와 이중 권선을 이용한 형태의 발룬은 상대적으로 낮은 전력과 넓은 주파수 범위에서 사용되며, Coaxial 라인의 중심 선로와 외곽 표면을 이용한 발룬은 비교적 높은 전력과 좁은 주파수 범위에서 주로 이용한다[3][4]. 또한, 한 옥타브 대역 이상의 광대역에서는 기판 상에서 신호 전달 특성을 이용하여 제작하는 Marchand 발룬을 사용할 수 있다[5].

본 논문에서는 다이폴의 길이를 가변하여 동작 중심 주파수를 조절할 수 있는 가변 다이폴 안테나에 적합한 광대역 발룬을 제안하였다. 제안된 발룬은 발룬에서의 신호 방사 특성을 없애기 위하여 스트립라인 형태로 구성되었으며, 다이폴 안테나의 지지대 역할 및 다이폴 안테나의 특성에 영향을 최소화하기 위해 가늘고 긴 형태로 설계 및 제작하였다.

## II. 본 론

### 1. 발룬 설계

다이폴 안테나에 이용하는 발룬은 발룬 자체에서 외부로 방사되는 신호의 양을 최소로 하여야 하며, 발룬 자체가 안테나의 방사 패턴에 대하여 영향을 최소화하여야 한다. 이러한 구조를 만족시키기 위하여 그림 1과 같이 한 개의 전력분배기\_역으로 동작하는 경우 전력결합기로 동작\_와 두개의 위상 변환기를 이용하여 구성된 발룬을 스트립 라인으로 제작하였다. 그림 1에서 언발란스드 단자(A)를 출력 단자로 하고, 발란스드 단자(B와 C)를 입력단자로 하여 제안된 발룬의 기본적인 동작을 살펴보면 다음과 같다. 동일한 세기와 180도 위상차를 갖는 두 개의 입력 신호는 동일한 지연 시간을 가지고 180도 위상차를 발생시키는 광대역 위상 변환기를 거쳐, 윌킨슨 전력결합기에서는 동일한 세기와 동일한 위상으로 존재하게 된다. 동일한 세기와 동일한 위상으로 윌킨슨 전력결합기를 거친 신호는 3dB 증가된 신호로 전력결합기의 출력단자에 존재하게 된다. 두 개의 발란스드 단자의 위상 및 세기차에 의해 결합 단자에 발생하는 신호의

세기 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다. 식 (1)은 윌킨슨 전력결합기의 결합 특성에 대한 자체적으로 계산된 식으로  $\theta$ 는 윌킨슨 전력결합기에서 두 입력 단자 사이에 존재하는 신호의 위상각 차이이고,  $K(\text{dB})$ 는 신호 사이의 세기차이다.

$$IL(\text{dB}) = 10 \log \left( \frac{k + 1 + 2\sqrt{k} \cos \theta}{2(1+k)} \right), \quad (k = 10^{K(\text{dB})/10}) \quad (1)$$

위상 변환기는 3-dB 브랜치라인 커플러 형태로 동작하는 회로를 이용하여 구현할 수 있다. 구현 방법은 아래와 같다. 3-dB 브랜치라인 커플러의 출력 단자와 결합 단자에 단락 회로를 연결한 경우와 개방 회로를 연결한 경우는 동일 삽입 손실을 가지고 상대적으로 180도 위상차를 갖는 신호를 격리 단자에서 얻을 수 있다.

그림 1은 제안된 스트립 발룬의 블록 다이어그램이고, 그림 2는 제안된 스트립 발룬의 구조이다. 광대역 분배를 위하여 3단 윌킨슨 전력 분배기를 이용하고, 3-dB 브랜치라인 커플러로는 SAGE LAB사의 BHC-B2 wire line을 이용하였다. 3단 윌킨슨 전력 분배기는 1단 윌킨슨 전력 분배기보다 2배 이상의 넓은 대역에서 사용 가능하며, 보다 좋은 전력 분배와 반사 계수를 갖는다.

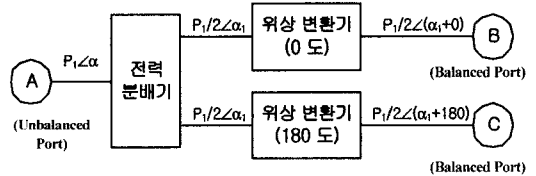


그림 1. 제안된 발룬의 블록 다이어그램  
Fig. 1 Block diagram of the proposed balun

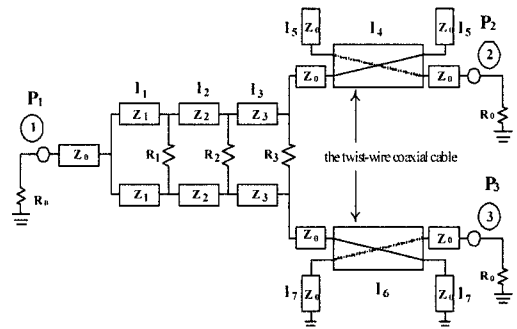


그림 2. 제안된 발룬의 구조  
Fig. 2 Drawing of the proposed balun

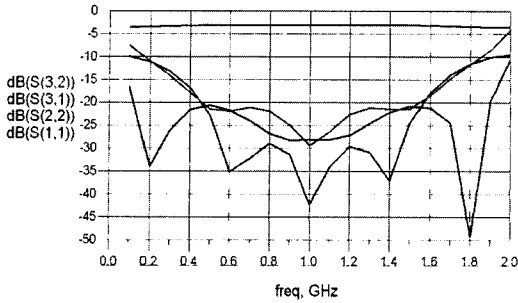


그림 3. 전력 분배기의 시뮬레이션 특성

Fig. 3 The simulation characteristics of power divider

표 1. 제안된 발룬의 설계 규격

Table. 1 Design parameter of the proposed balun

특성		규격 (중심주파수: 1GHz)
전력 분배기	$Z_1 / Z_2 / Z_3$	- Impedance( $\Omega$ ): 89/72/57 - Width(mm): 0.35/0.62/1.03
	$l_1 / l_2 / l_3$	- Length(degree): 88/89.5/89.5 - Length(mm): 41/41.7/41.7
	$R_1 / R_2 / R_3$	120 $\Omega$ / 130 $\Omega$ / 170 $\Omega$
위상 변환기	$l_4 / l_6$	46 mm / 48 mm
	$l_5 / l_7$	- Length(degree): 4.3 / 1.1 - Length(mm): 4 / 0.5

원하는 주파수 대역이 적고, 낮은 삽입 손실을 원하는 경우에는 1단 월킨슨 전력 분배기 사용이 합리적이라 할 수 있다. BHC-B2 wire line은 3-dB 브랜치라인 커플러가 갖는 협대역 특성을 해결할 수 있는 3-dB 커플러이다. 발룬의 동작 특성은 3단 전력 분배기와 BHC-B2 wire line의 특성에 의해 결정되며, 특히 BHC-B2 wire line 동작 범위가 보다 중요하게 작용된다.

다이폴 안테나용 스트립라인 발룬은 500~1500 MHz 대역에서 반사계수(S11) -10 dB 이하, 손실 -2 dB 이하, 결합 손실 -0.05 dB를 목표로 하였다. 식 (1)을 이용하여 결합 손실 -0.05 dB의 값은 밸런스 단자의 세기차  $\pm 0.5$  dB, 위상차  $180 \pm 10$ 도 이내의 값으로 구현 가능함을 알 수 있다.

설계 및 제작에 사용된 기판은 TACONIC사의 TLC32 C1-C1 기판으로 스트립라인으로 사용할 경우 두께가 약 2.3 mm로 다이폴 안테나의 지지대로 안정적으로 이용 가능하다. 표 1은 제안된 발룬의 설계 값으로 전력 분배기는 계산된 값을 ADS프로그램을 이용하여 최적화하였으며, 위상 변환기는 wire line을 실험을 통하여 최적화

하였다. 그림 3은 전력 분배기의 시뮬레이션 특성으로 100~1900 MHz에서 반사계수(S11)는 -15 dB 이하의 값, 출력값(S21와 S31)은 -3~-3.5 dB, 출력단자의 반사계수(S22)와 출력단자 간의 전달계수(S32)는 -10 dB 이하의 값을 가졌다. 여기서, 2번 단자는 위상 변환기의 연결 단자가 개방 회로와 연결되며, 3번 단자는 위상 변환기의 연결 단자가 단락 소자와 연결된다. wire line은 개방 단자에 이용되는 소자의 길이와 단락 단자에 이용되는 소자의 길이가 다르다. 이는 wire line의 연결부에 존재하는 부가 커패시턴스에 의한 것으로, 개방 선로의 길이를 이용하여 위상 변환기에서 발생하는 지연 시간 및 위상을 보상할 수 있다. 실험을 통하여 얻은 최적의 길이는 개방 회로가 연결되는 2번 단자의 wire line은 46 mm이고, 단락 회로가 연결되는 3번 단자의 wire line은 48 mm이다.

## 2. 실험 결과

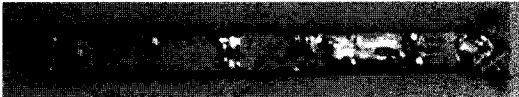
그림 4는 제작된 광대역 스트립라인 발룬의 모습이 다. 그림 4. (a)에서와 같이 마이크로스트립 형태의 두개의 기판을 이용하여 스트립라인 발룬을 만들었다. 하나의 기판은 3단 월킨슨 전력 분배기와 두 개의 위상 변환기 회로를 만들고, 다른 하나의 기판으로 이용하여 스트립라인을 만들었다. 그림 4. (b)는 제작된 스트립라인 발룬이다. 제작된 발룬의 길이는 220 mm, 폭은 12 mm, 두께는 2.3 mm이다. 3단 월킨슨 전력 분배기 대신에 1단 월킨슨 전력 분배기를 사용할 경우에는 길이는 약 120 mm로 단축 가능하나, 주파수 대역이 좁아지게 된다. 다이폴 안테나의 연결 소자로서 스트립라인 발룬을 사용할 경우에는 안테나로부터 일정 거리이상 연결 단자가 존재하는 것이 안테나의 동작 패턴에 보다 좋으리라 생각한다. 광대역 및 안테나 패턴에 영향이 없는 경우에는 3단 전력 분배기보다 1단 전력 분배기가 발룬의 크기를 줄일 수 있다.

표 2와 그림 5는 제작된 스트립 발룬의 성능이다. 측정 시스템으로는 Agilent technologies사의 E8363B PNA Network Analyzer를 이용하였다. 측정 결과를 보면 500~1500 MHz에서 대역에서 반사계수(S11) -9.8 dB 이하, 손실 -1.6 dB 이하, 출력단자 사이의 세기차  $\pm 0.7$  dB, 위상차  $180 \pm 8$ 도 이내로 목표로 설정한 값과의 큰 차이는 발생하지 않았다. 출력단자 사이의 세기차  $\pm 0.7$  dB, 위상차  $180 \pm 8$ 도는 결합전력 손실이 -0.03 dB이하의 값으로 이는 초기 선정한 결합 전력 손실 -0.05 dB보다 좋은

값임을 알 수 있다. 이는 전력 결합기에서의 결합 손실은 결합 신호의 세기와 위상 모두가 영향을 주기 때문이다.



(a) 스트립라인 발룬 제작 전 사진  
(윗면: 주 기판, 아랫면: 보조 기판)



(b) 스트립라인 발룬 사진  
(주 기판과 보조 기판을 결합하여 조립한 모습)

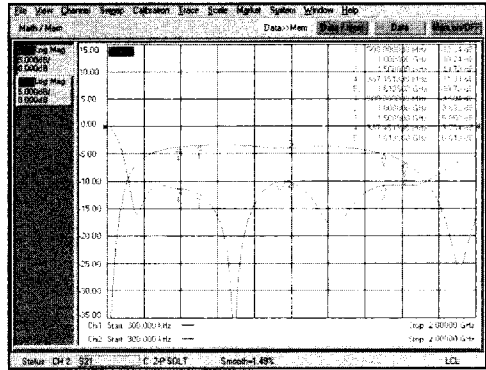
그림 4. 제작된 스트립라인 발룬 사진  
(크기: 12(W)x220(L)x2.3(T) mm3)

Fig. 4 Photograph of the fabricated stripe-line balun  
(Size: 12(W)x220(L)x2.3(T) mm3)

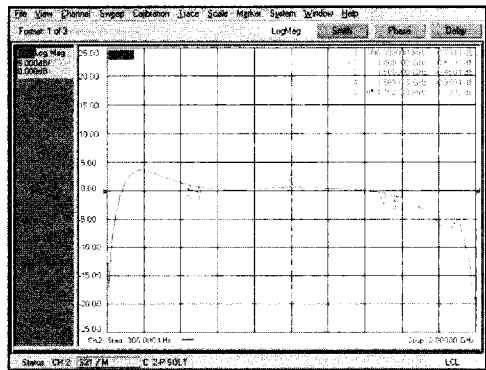
표 2. 제작된 발룬의 특성

Table. 2 Characteristics of the fabricated balun

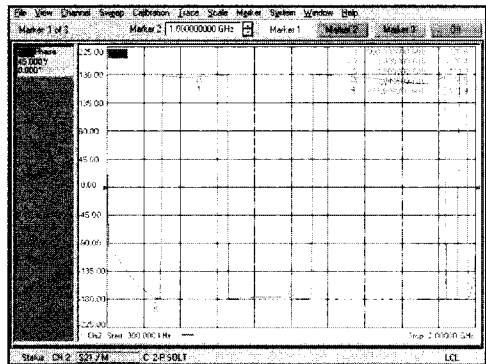
특성	목표값	측정값
S <sub>11</sub>	-10 dB 이하	-9.8 dB 이하
S <sub>21</sub>	-5 dB 이내	-4.6 dB 이내
S <sub>31</sub>	-5 dB 이내	-4.2 dB 이내
S <sub>22</sub>	-10 dB 이하	-9.1 dB 이하
S <sub>32</sub>	-10 dB 이하	-6.9 dB 이하
S <sub>21</sub> /S <sub>31</sub> 세기차	±0.5 dB 이내	±0.7 dB 이내
S <sub>21</sub> /S <sub>31</sub> 위상차	180±10도 이내	180±8도 이내



(b) S<sub>11</sub>, S<sub>31</sub> 특성

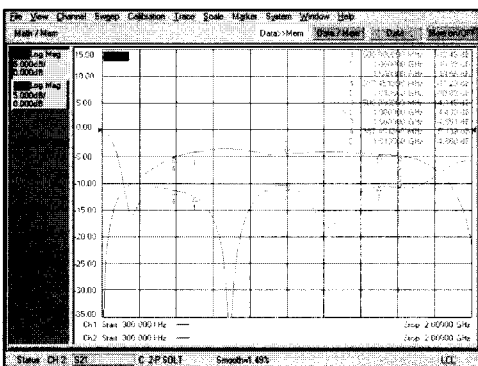


(c) S<sub>21</sub>/S<sub>31</sub> 세기차 특성



(d) S<sub>21</sub>/S<sub>31</sub> 위상차 특성

그림 5. 제작된 발룬 실험 결과  
Fig. 5 Test result of the fabricated balun



(a) S<sub>11</sub>, S<sub>21</sub> 특성

### III. 결 론

한 개의 전력 분배기와 두 개의 위상 변환기를 이용하여 한 옥타브 대역 이상에서 동작 가능한 광대역 스트립 라인 발룬을 제작하였다. 스트립라인 발룬은 다이폴 안테나와 같이 외부 방사에 영향을 주는 회로에 있어서 적당한 발룬이라 하겠다. TACONIC 사의 TLC32 C1-C1 기판으로 제작된 스트립라인 발룬은 500~1500 MHz에서 대역에서 반사계수(S11) -9.8 dB 이하, 손실 -1.6 dB 이하, 출력단자 사이의 세기차  $\pm 0.7$  dB, 위상차  $180 \pm 8$ 도 이내로 전력 결합 손실 -0.03 dB의 값을 가졌다. 이러한 특성은 산업체 및 실제 응용이 가능한 좋은 값이라 할 수 있다.

### 참고문헌

- [1] Ung-Hee Park and Jong-Sik Lim, "A 700- to 2500-MHz microstrip balun using a wilkinson divider and 3-dB quadrature coupler", *Microwave and Optical Technology Lett.*, Vol.47, No.4, pp.333-335, Nov. 2005.
- [2] J. S. Lim, U. H. Park, Y. C. Jeong, K. S. Choi, D. Ahn, S. Oh and J. J. Koo, "800-5000 MHz ultra-wideband CPW balun", *Electronics Lett.*, Vol.42, No.18, pp.1037-1039, Aug. 2006.
- [3] 박원석, 박응희, 허준원, "Coaxial line을 이용한 초고주파 RF 상쇄 회로", *대한전자공학회 춘계 종합 학술대회 논문집*, pp. 117-120, 1998
- [4] David M. Pozar, *Microwave Engineering*, Addison Wesley, pp. 383-449, 1990.
- [5] 김선숙, 이종환, 염경환, "새로운 발룬 회로를 이용한 2 GHz 대역 이중 평형 Star 혼합기의 설계 및 제작", *한국전자과학회논문지*, Vol.15, pp.44-50, 2004.

### 저자소개



이창석(Chang-Seok Lee)

2003년 삼척대학교 전자공학과 졸업  
 2006.3~현재 강원대학교 삼척캠퍼스 전자공학과 석사과정

※관심분야: 마이크로파 회로



박응희(Ung-Hee Park)

2000년 서강대학교 전자공학과 공학박사  
 2000.3~2006.8 한국전자통신연구원 안테나기술팀 선임연구원

2006.8~현재 강원대학교 삼척캠퍼스 전자공학과 조교수

※관심분야: 마이크로파 및 안테나 설계