

마이크로스트립 대 CPW 결합 구조를 이용한 발룬 Planar Balun using Microstrip to CPW Coupled Structure

방 현 국 · 이 해 영

Hyon-Guk Pang · Hai-Young Lee

요 약

본 논문에서는 마이크로스트립 대 CPW 결합 구조를 이용하여 다양한 신호 정합회로에 사용되는 발룬을 제작·측정하였다. 측정 결과, 가용 주파수 2.44~4.33 GHz에서 삽입 손실의 차이는 0.2 dB 이내이고 위상 차이는 2.1° 이내로 나타났다. 따라서 제안된 발룬은 구조적 특성으로 인해 다양한 초고주파용 다층 회로에 사용되어 혼합기, 증폭기, 안테나의 급전부 등의 성능향상에 기여할 것으로 기대된다.

Abstract

In this paper, a double-sided planar balun using Microstrip-to-CPW coupled structure is fabricated and measured. The measured amplitude and phase imbalance are, respectively, less than 0.2 dB and 2.1° in a wide frequency range from 2.44 GHz to 4.33 GHz. It is expected that the proposed balun can improved the performance of balanced mixer, amplifier and feeding network of antennas. Also, it can be used in many microwave multilayer structures due to its structural characteristics.

Key words : Balun, CPW, Transition

I. 서 론

최근 정보 통신 기술의 발전은 통신 시스템에 사용되는 소자들의 소형화, 집적화를 요구하고 있으며, 시스템을 구성하는 여러 칩셋을 하나의 칩으로 통합하려는 방향으로 발전하고 있다. 이를 위해서는 칩 자체의 설계 기술 뿐 아니라, 능/수동 소자의 설계 기술 개발이 선행되어야 한다. 발룬(balun)은 불평형 신호(unbalanced signal)와 평형 신호(balanced signal)를 서로 바꾸어 주는 소자로서 평형 혼합기(balanced mixer), 평형 증폭기(balanced amplifier), 위상 천이기(phase shifter), 안테나의 급전부 및 안테나와 저 잡음 증폭기(LNA: Low Noise Amplifier)의 연결부 등에 사용되는 중요한 소자이다^[1]. 발룬은 출력 단에서 크기는 입력 신호의 반이고 서로 위상이 180° 차이를 갖는 신호를 얻을 수 있다. 일반적으로

발룬은 능동 소자를 이용한 능동형 발룬(active balun)과 동축 선로(coaxial cable), CPW(coplanar waveguide), 마이크로스트립(microstrip) 선로 등을 이용한 수동형 발룬(passive balun)으로 구분할 수 있다. 능동형 발룬의 경우 DC 전력 소비 및 높은 노이즈(noise)가 발생하는 단점으로 현재 수동형 발룬이 많이 사용되어지고 있다. 수동형 발룬의 경우 두개의 방향성 결합기(directional coupler)를 서로 연결하여 구현할 수 있으며, 대부분 평면 구조의 마이크로스트립 형태로 마이크로스트립 대 슬롯 선로(slot line) 결합 구조, CPW 대 슬롯라인 결합 구조, CPW 대 CPW 결합 구조를 이용한다^{[2],[3]}. 마이크로스트립의 경우 큰 분산 효과로 인하여 고주파에서 일정한 특성 임피던스 유지가 어려워 광대역 특성을 구현하는데 문제점이 있으며, 구조상 기판 아래에 접지평면(ground plane)을 반드시 필요로 한다. 또한 이러한

아주대학교 전자공학부(Department of Electronics Engineering, Ajou University)

· 논문 번호 : 20030524-04S

· 수정완료일자 : 2003년 7월 30일

구조적 특징은 다층 구조에 적합하지 않으며, via-hole 전이에 의한 특성 저하를 야기한다. CPW, CPS (coplanar strip) 및 슬롯 라인 등의 단일 평면 전송선로는 작은 분산 효과 및 간단히 단락 회로(short-circuit)를 구현 할 수 있는 장점으로 초고주파 대역에서 마이크로스트립 선로를 대체하고 있으며, 이를 이용한 다양한 형태의 평면형 발룬이 발표되고 있다^[2].

이와 같은 마이크로스트립 선로의 구조적 단점을 보완하고 CPW의 다층 기판 적용 용이성을 토대로 본 논문에서는 그림 1과 같이 마이크로스트립 대 CPW 결합 구조를 이용한 발룬을 제안하였다. 본 논문에서 제안된 구조는 마이크로스트립의 접지평면과 CPW의 접지 평면을 동시에 사용함으로써 접지 평면 추가 없이 다층 기판 구조에 효율적으로 적용할 수 있으며, folded 형태를 이용하여 작은 크기의 발룬을 구현할 수 있다. 제안된 발룬의 해석은 FEM (Finite Element Method)방식을 사용하는 상용 시뮬레이션 툴을 사용하였다^[4]. 측정 결과 가용 주파수 범위 2.44~4.33 GHz에서 출력 단의 삽입 손실의 차이는 0.2 dB 이내이고 위상 차이는 2.1° 이내로 나타났다. 이는 기존의 마이크로스트립이나 CPW를 이용한 발룬에 비해 동일하거나 우수한 특성임을 알 수 있

다. 또한 밀리미터파 대역용 회로는 기존의 마이크로스트립 선로에 작은 분산 특성을 갖는 CPW를 조합하여 사용하는 경우가 많으므로 이에 본 구조가 큰 장점이 있다.

II. 구조 및 해석 방법

2-1 제안된 발룬의 구조

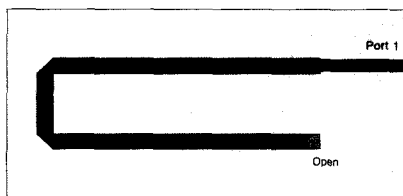
그림 1은 본 논문에서 제안한 발룬의 구조이다. 발룬은 보통 $\lambda/4$ 길이를 갖는 두개의 커플러를 서로 연결한 구조로 본 논문에서는 마이크로스트립 선로와 CPW 선로로 $\lambda/4$ 길이의 커플러를 구성하였다. 제안한 구조는 실제 제작 구조에 적합하도록 Roger사의 RO 4003 기판($\epsilon_r = 3.38, H = 8 \text{ mil}$)을 이용하였다. 입력 단자(Port 1)는 마이크로스트립 라인으로, 출력 단자(Port 2, Port 3)는 CPW 구조를 이용하여 구성하였고, CPW의 비대칭 구조로 인하여 발생하는 기생 slot mode를 억제하기 위하여 air-bridge를 사용하였다. 또한 발룬의 전체적인 크기를 줄이기 위하여 folded 형태를 사용하였다.

우선, 전송선로의 길이는 커플러의 설계 조건에 맞게 $\lambda/4$ (quarter-wavelength)의 전기적 길이로 결정하였다. 발룬을 구성하는 커플러의 구조를 결정하기 위하여 아래의 식을 사용하였다^[5].

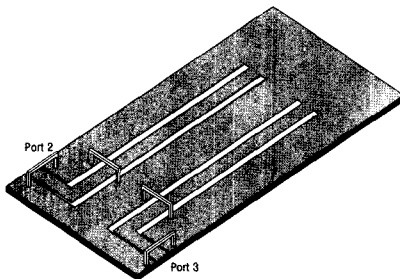
$$C = \frac{1}{\sqrt{\frac{2Z_1}{Z_0} + 1}} \quad (1)$$

위 식에서 C 는 결합 계수(coupling factor)를 나타내며, Z_0 은 입력 단(unbalanced port)의 임피던스(impedance)를, Z_1 은 출력 단(balanced port)의 임피던스를 나타낸다. 위식으로부터 발룬의 입/출력 단이 모두 50Ω 으로 정합이 된 발룬을 구성하려면 커플러의 결합계수는 -4.8 dB 가 되면 된다. 발룬을 구성하는 마이크로스트립 선로와 CPW 선로의 특성임피던스 및 길이를 계산하기 위하여 even-odd mode 해석 방법을 사용하였다. 일반적으로 결합 선로(coupled line)를 이용한 커플러의 경우 even-odd mode 해석을 통해 아래의 식으로부터 전송선의 특성 임피던스를 계산할 수 있다^[6].

$$Z_{oe} = Z_0 \sqrt{\frac{1+C}{1-C}}, \quad Z_{oo} = Z_0 \sqrt{\frac{1-C}{1+C}} \quad (2)$$



(a) 윗면
(a) Top view



(b) 아래면
(b) Bottom view

그림 1. 제안된 발룬의 구조
Fig. 1. Proposed balun structure.

$$Z_0 = \sqrt{Z_{0e}Z_{0o}} \quad (3)$$

$$C = \frac{Z_{0e} - Z_{0o}}{Z_{0e} + Z_{0o}} \quad (4)$$

여기서 Z_0 는 선로의 특성 임피던스이고 Z_{0e}, Z_{0o} 는 각각 even/odd mode 임피던스이다. 위의 식을 이용하여 발룬을 구성하는 커플러의 even/odd mode 임피던스를 계산하면 $Z_{0e} = 97 \Omega$, $Z_{0o} = 26 \Omega$ 이 됨을 알 수 있다. 위의 계산 과정을 통해 구한 마이크로스트립 선로는 설계 주파수 3 GHz에서 선폭 0.414 mm, 길이 15.3 mm이고 CPW의 경우 선폭 0.574 mm, 간격 0.266 mm이다.

2-2 제작한 발룬의 구조

그림 2는 본 논문에서 제안된 마이크로스트립 대 CPW 결합 구조를 이용한 발룬의 제작된 구조를 나타낸 사진이다. 제안된 발룬은 Rogers사의 RO4003 ($\epsilon_r = 3.38, H = 8 \text{ mil}$) 기판을 사용하였으며, 측정 시 커넥터(connector)에 의한 영향을 최소화하기 위하여 두 출력 단의 길이를 해석 구조보다 길게 하여 제작하였다.

2-3 해석 및 측정 방법

설계된 발룬의 해석은 완전 수치 해석법(Full-wave analysis)인 유한 요소법(Finite Element Method:

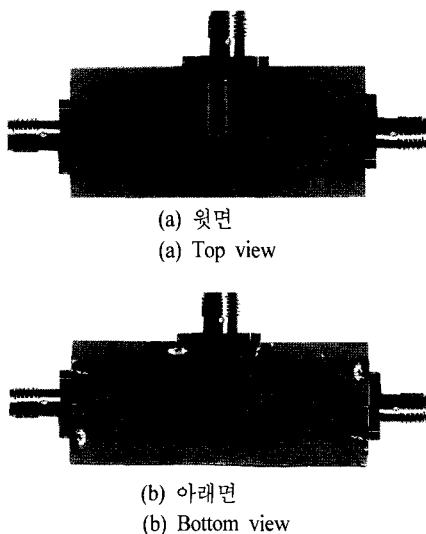


그림 2. 제작한 발룬
Fig. 2. Fabricated balun.

FEM)을 사용하는 상용 시뮬레이션 툴을 이용하여 1 GHz부터 8 GHz까지 해석하였고, 전체 S-파라미터의 오차율이 3 % 이내에 수렴하도록 유한 요소 mesh 생성을 반복 수행하였다. 또한 제안한 구조에서 도체 손실을 고려하기 위해 금속 선로는 두께가 17 μm 인 구리(copper)로 설정하였다. 입출력 단자를 제외한 경계면에서의 방사효과를 고려하기 위하여 흡수 경계조건(absorbing boundary condition)을 적용하였다. 제작한 발룬의 측정은 벡터 회로망 분석기(VNA: Vector Network Analyzer)를 이용하였다. 측정 시 두 개의 단자는 SOLT(short-open-load-thru) 보정 기법을 이용하여 보정을 하였고 나머지 단자는 50 Ω 으로 종단하였다.

III. 해석 및 측정 결과

그림 3에 제안된 발룬의 해석 및 측정 결과를 나타내었다. 제작된 발룬은 중심 주파수 3.36 GHz에서 두 출력 단의 삽입 손실이 각각 -3.1 dB, -3.2 dB로

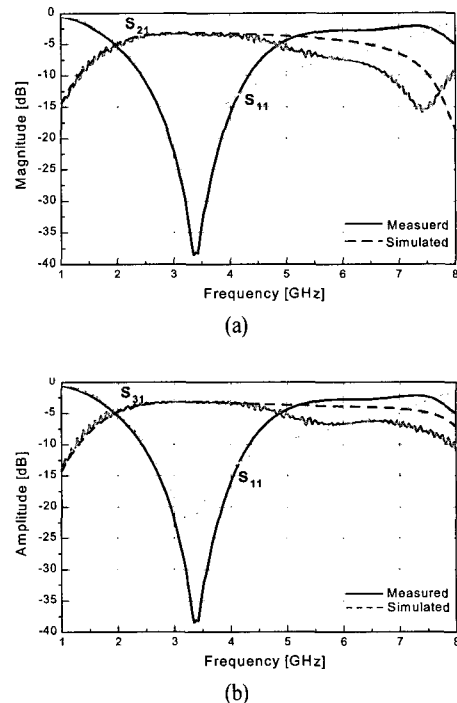


그림 3. (a) 출력 단(2 port)의 삽입 손실(S_{21})
(b) 출력 단(3 port)의 삽입 손실(S_{31})
Fig. 3. (a) Insertion loss(S_{21}) of the output port(2 port)
(b) Insertion loss(S_{31}) of the output port(2 port).

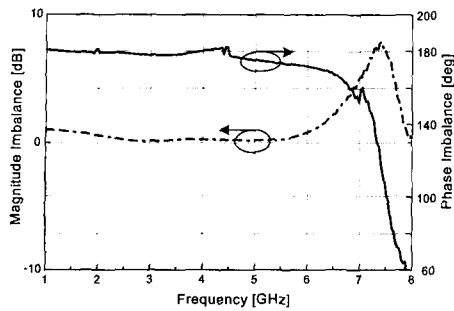


그림 4. 측정된 출력 단의 삽입 손실 및 위상차 비교
Fig. 4. Comparison of the measured insertion loss and phase imbalance of output ports.

나타났다. 중심 주파수에서 반사 손실은 -38 dB였고, 중심 주파수를 기준으로 반사손실이 10 dB이하인 주파수 범위를 가용 주파수라고 하면 가용 주파수 범위는 2.44~4.33 GHz로 약 56 %의 비대역폭 (fractional bandwidth)을 가짐을 알 수 있었다.

그림 4에 출력 단에서의 삽입 손실 차이와 위상 차이를 나타내었다. 그림 4에서처럼 중심 주파수에서 양 출력 단의 삽입 손실의 차이는 약 0.1 dB 정도였고, 위상 차이는 중심 주파수에서 약 2° 로 나타났다. 가용 주파수 범위 내에서는 삽입 손실의 차이는 0.2 dB 이내이고 위상 차이는 2.1° 이내로 나타났다.

그림 5는 제작한 발룬의 back-to-back 측정 결과이다. 측정 결과 가용 주파수 범위 내에서 각각의 발룬은 삽입 손실이 0.4 dB 이내로 나타났다.

IV. 결 론

본 논문에서는 마이크로스트립 대 CPW 결합 구조를 이용하여 양면 기판에 구현 가능한 발룬을 제안하였다. 제안된 발룬의 해석은 수치 해석법인 FEM을 이용하였고 Rogers사의 RO4003 ($\epsilon_r = 3.38$, $H = 8\text{mil}$) 기판을 이용하여 제작하였다. 측정 결과 3.36 GHz에서 두 출력단의 삽입 손실이 최대로 나타났으며 가용 주파수 범위 2.44~4.33 GHz 내에서 삽입 손실의 차이는 0.2 dB 이내였고 위상 차이도 2.1° 이내로 나타남을 알 수 있었다. 따라서 제안된 발룬은 평형 혼합기, 증폭기 등의 입/출력 단에 사용되어 전체적인 성능을 향상시킬 수 있을 것으로 기대된다. 또한 제안된 발룬은 낮은 손실과 광 대역 특성을

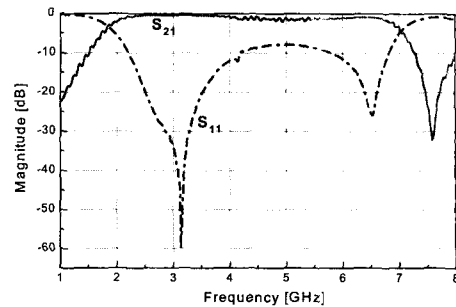


그림 5. Back-to-back 측정 결과
Fig. 5. Back-to-Back measured results.

가질 뿐 아니라, 마이크로스트립과 CPW의 접지 평면을 동시에 갖는 구조로 양면 기판에 쉽게 구현할 수 있는 이점으로 다양한 초고주파용 다층 인쇄 회로에 유용하게 사용되리라 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] Jong-Wook Lee, K. J. Webb, "A low-loss planar microwave balun with an integrated bias scheme for push-pull amplifiers", *IEEE MTT-S International, Microwave Symposium Digest*, vol. 1, pp. 197-200, 2001.
- [2] K. P. Ma, Y. Qian and T. Itoh, "Analysis and applications of a new CPW-slotline transition", *Microwave Theory and Techniques, IEEE Transactions on*, vol. 47, Issue: 4, pp. 426-432, Apr. 1999.
- [3] Huifang Gu, Ke Wu, "Broadband design consideration of uniplanar double-Y baluns for hybrid and monolithic integrated circuits", *Microwave Symposium Digest, 1999 IEEE MTT-S International*, vol. 3, pp. 863-866, 1999.
- [4] HFSS(High Frequency Structure Simulator), Ver 8.0, Ansoft.
- [5] Kian Sen Ang, I. D. Robertson, "Analysis and Design of Impedance-Transforming Planar Marchand Marchand Baluns", *Microwave Theory and Techniques, IEEE Transactions on*, vol. 49, Issue:2, pp. 402-406, Feb. 2001.
- [6] David M. Pozar, *Microwave Engineering*, John Wiley & Sons, 1998.

방 현 국



2002년 2월: 아주대학교 전자공학부 (공학사)
2002년 2월~현재: 아주대학교 전자공학부 석사과정
[주 관심분야] 초고주파 수동소자 개발 및 RFIC

이 해 영



1980년 2월: 아주대학교 전자공학과 (공학사)
1982년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학석사)
1982년~1986년: 국방부 연구사무관

1989년 12월: The University of Texas at Austin (공학박사)
1990년~1992년: 금성 중앙 연구소 기초1실장 책임연구원
1992년~현재: 아주대학교 전자공학부 정교수
[주 관심분야] 초고속/고밀도 반도체 Package의 설계/측정, 초고주파소 및 광전자소자의 설계/측정, 초소형 안테나 해석/설계, 초전도체의 고속 전송 특성 모델링