

연성 인쇄 회로를 이용한 광대역 Marchand 발룬

Wideband Marchand Balun Using Flexible Printed Circuit

이 선 호 · 주 성 호 · 이 해 영

Sun-Ho Lee · Sung-Ho Joo · Hai-Young Lee

요 약

본 논문에서는 기능성 연결부에 대한 응용으로, 연성 인쇄 회로의 조건에서 광역 결합 CPW 구조를 이용한 광대역 Marchand 발룬을 제작·측정하였다. 제안된 발룬은 결합 선로 이론을 바탕으로 설계, 기존의 마이크로스트립 라인 구조의 발룬과 비교하여 작은 크기로 향상된 특성을 나타냈다. 측정 결과 72 %의 넓은 대역폭을 갖고, 가용 주파수 내(1.63~3.44 GHz)에서 삽입 손실의 차이와 위상 차이는 각각 0.2 dB, 1° 이내로 나타났다. 따라서 제안된 발룬은 안테나와 RF 전단부의 연결부로 사용되어 전체적인 성능 향상에 기여할 것으로 기대된다.

Abstract

In this paper, a new marchand balun using broadside-coupled coplanar waveguide(CPW) on flexible printed circuit (FPC) is proposed. The proposed balun is designed based on the coupled line theory. The fabricated balun shows compact size and improved performance compared to the conventional microstrip line marchand balun. Measured amplitude and phase imbalance between the two balanced output ports are within 0.2 dB and 1° respectively in a wide frequency range(1.63~3.44 GHz). The proposed balun is expected to be used between various antennas and RF front-ends as a functional interconnection.

Key words : Marchand Balun, Flexible Printed Circuit, Broadside-Coupled CPW

I. 서 론

고주파 전송 선로에서 한 쪽 금속을 접지시키고 하나의 선로만을 신호로 쓰는 불평형 신호(unbalanced signal)는 공유된 접지를 통해 공통 모드 잡음(common mode noise)이 많이 유입되는 문제가 있다. 따라서 크기가 같고 위상이 반대인 평형 신호(balanced signal)를 두 선로의 조합을 통해 전송한다. 하지만 일반적인 통신 시스템에서 사용하는 안테나는 불평형 신호만을 사용하기 때문에 이러한 불평형 신호와 평형 신호 사이의 변환에 있어 발룬은 필수적인 요소이다^[1].

발룬은 집중형 발룬(lumped-type balun)과 분포형 발룬(distributed-type balun)으로 나뉜다^{[2],[3]}. 집중형

발룬은 작고 가벼운 반면 평형 신호 사이에 180°의 위상 차이를 유지하기 어려운 단점이 있다. 분포형 발룬은 매우 좋은 주파수 응답을 갖고 전력 분배가 좋으며, 180°의 위상 차이를 유지하는 장점이 있지만 낮은 주파수 대역에서는 크기가 커져 사용할 수 없는 단점이 있다.

한편, 전자기기에서 각종 전자 소자를 연결해 주거나 지지하는 역할을 하는 인쇄 회로 기판(printed circuit board)은 최근 전자 제품의 소형화, 경량화, 고밀도화가 요구됨에 따라 연성 인쇄 회로(flexible printed circuit)로 대체되고 있다. 연성 인쇄 회로는 소형화, 고밀도화가 가능할 뿐만 아니라 반복적인 굴곡 동작에 대한 내구성이 좋아서 유연한 회로의 구현이 가능해 휴대전화, 디지털 카메라, 프린트 기

아주대학교 전자공학부(Department of Electronics Engineering, Ajou University)

· 논문 번호 : 20061103-02S

· 수정완료일자 : 2007년 1월 25일

기는 물론 디스플레이 기기까지 다양하게 사용되고 있다¹⁴⁾.

본 논문에서는 이러한 연성 인쇄 회로의 장점을 살려 Marchand 발룬을 설계하였다. 그 결과, 중심 주파수 2.5 GHz에 대역폭이 약 1.81 GHz(1.63~3.44 GHz)로 약 72 %의 비대역폭을 나타냈다. 제안된 발룬은 케이블의 종단에 적용할 수 있는 구조로서, 케이블의 역할은 물론 발룬의 기능을 동시에 수행하기 때문에 발룬을 따로 구현하는 데에 따른 추가적인 공간과 비용을 필요로 하지 않는 큰 장점이 있다.

II. 구조

Marchand 발룬은 일반적인 마이크로스트립 구조로도 구현할 수 있는데, 결합 계수가 낮아 구현상에 어려움이 따른다. 접지면에 슬롯을 파서 결합 계수를 높이는 방법이 제안되었지만¹⁵⁾, 이 경우 접지면의 슬롯 모드에 의해 방사 손실이 발생하게 되므로 신호 전달이 효율적이지 못하다. 따라서 본 논문에서는 슬롯을 사용하지 않고 결합 계수를 높이는 동시에 연결부로서 신호 전송을 원활하게 하기 위해 그림 2와 같이 케이블 형태의 광역 결합 CPW 발룬을 제시하였다.

그림 2는 제안된 발룬 구조의 신호선과 접지선을 나타낸 것이다. 3개 층의 구리를 사용하는 다층 연성 인쇄 회로에 구현한 구조로서, 전체 크기는 3×12 mm 이고, 선로의 폭이 0.2 mm, 선로 간의 간격이 0.5 mm 이다. 어두운 색 선로가 신호선, 밝은 색 선로가 접지선이다. 불평형 신호의 선로는 비아를 통해 브릿지로 연결되었고, 평형 신호와의 결합은 선로 사이의 커패시턴스를 키워 주기 위해 광역 결합으로 연결하였다.

그림 3은 본 논문에서 사용한 연성 인쇄 회로의

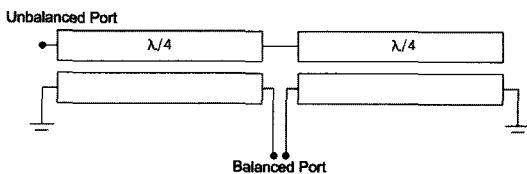


그림 1. Marchand 발룬
Fig. 1. Schematic of a Marchand balun.

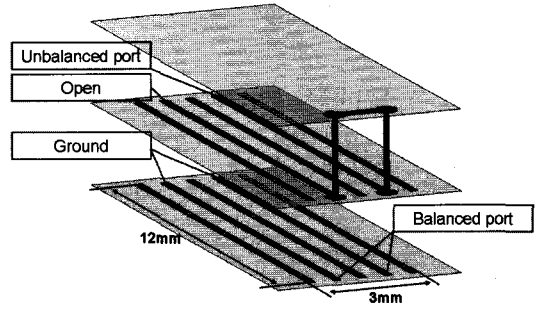


그림 2. 제안된 발룬의 구조
Fig. 2. Proposed balun structure.

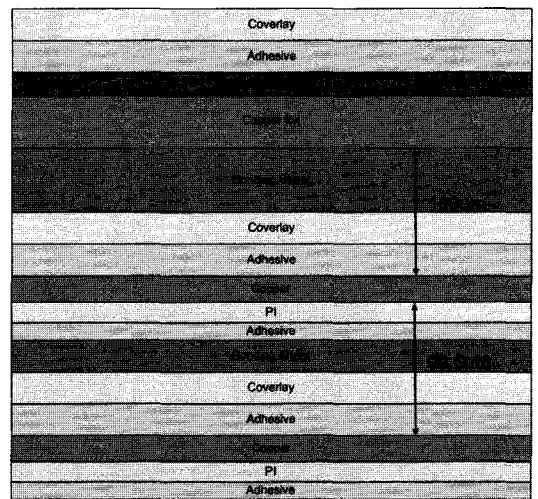


그림 3. 연성 인쇄 회로의 층간 구조
Fig. 3. Layer planning of FPC.

층간 구조를 나타낸 것이다. 그림에서처럼 연성 인쇄 회로는 각 구리 층간의 간격이 가깝기 때문에 광역 결합으로 인한 커패시턴스의 증가 효과가 극대화된다. 기모드 커패시턴스를 높여주면 결합 계수가 커져 광대역의 특성을 얻을 수 있다¹⁶⁾.

커패시턴스의 증가는 또 다른 장점을 갖는다. 기모드 커패시턴스가 증가하면 식 (1)에 의해 위상 속도가 작아지게 된다. 이를 slow-wave effect라고 하며, 이 현상이 발생하면 식 (2)에 의해 유효 유전율이 증가하게 된다. 따라서 식 (3)에 의해 전기적 길이가 짧아지게 되는데¹⁷⁾, 본 논문에서는 이러한 결합 선로 이론을 바탕으로 설계하여 λ/2의 길이가 요구되는 발룬을 λ/5의 길이만으로 구현했다.

$$v_p = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (1)$$

$$v_p = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_{eff}}} \quad (2)$$

$$\lambda_g = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_{eff}}} \quad (3)$$

본 논문에서 제안한 광역 결합 구조는 기모드 컷 패시턴스 값을 일정하게 유지하면서 선로의 폭과 길이를 조절하면 유사한 특성을 갖는 발룬을 다양한 길이, 폭의 선로로 구현 가능하다.

III. 해석 및 측정 결과

3-1 시뮬레이션

설계한 발룬은 Ansoft사의 HFSS를 사용하여 해석하였다. 그림 4는 발룬의 삽입 손실과 반사 손실을, 그림 5은 발룬의 삽입 손실 차이와 위상 차이를 나타낸 것이다. 시뮬레이션 결과 중심 주파수 2.90 GHz에서 두 출력단의 삽입 손실은 모두 -3.18 dB, 반사 손실은 -28.74 dB로 나타났다. 반사 손실이 -10 dB 이하인 부분을 가용 주파수 대역으로 정의할 때, 대역폭이 약 2.65 GHz(1.78~4.43 GHz)로 나타나 중심 주파수가 2.90 GHz인 것을 감안하면 약 91%의 비대역폭(fractional bandwidth)을 갖는다. 가용 주파수 범위 내에서의 최대 삽입 손실 차이는 0.43 dB 이고, 최대 위상 차이는 2.49°로 나타났다. 그림 6은

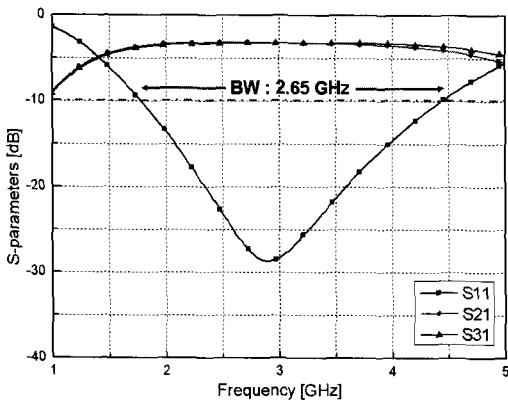


그림 4. 발룬의 반사 손실과 삽입 손실
Fig. 4. Return loss and insertion loss.

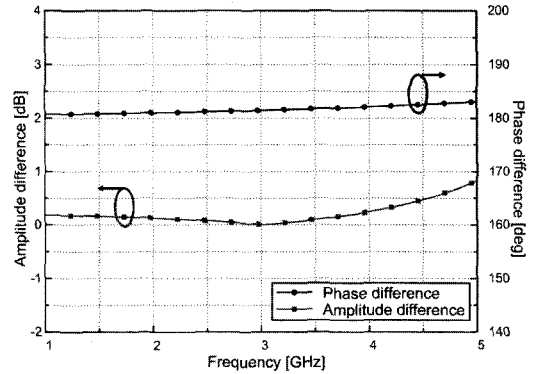


그림 5. 발룬의 삽입 손실 차이와 위상 차이
Fig. 5. Amplitude imbalance and phase difference.

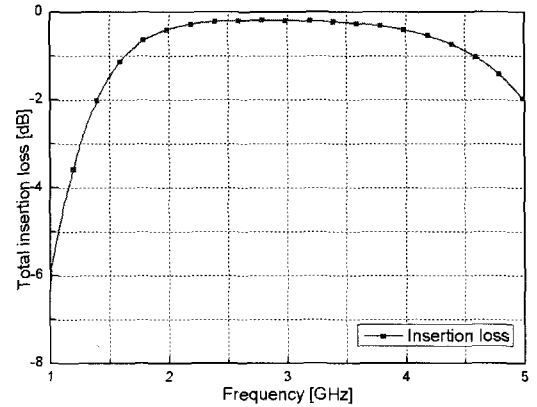


그림 6. 발룬의 전체 삽입 손실
Fig. 6. Total insertion loss.

제안된 발룬의 전체 반사 손실과 삽입 손실을 나타낸 것이다. 이는 제안된 발룬과 이상적인 발룬을 back-to-back으로 연결하여 확인하였다. 그 결과 가용 주파수 내에서의 전체 삽입 손실은 0.8 dB 이내로 나타났다. 이처럼 제안된 연성 인쇄 회로 발룬은, 표 1에 나타난 현재 상용화 되고 있는 일반적인 칩 발룬과 비교하면 월등히 좋은 특성을 갖는다^[8].

3-2 제작 및 측정

그림 7은 그림 2에서 제시한 발룬에 측정을 위한 연결 부분을 추가한 모습이고 그림 8은 제작한 발룬의 사진이다. 150-pitch의 GSGSG probe tip을 사용하기 위해 선로의 폭과 선로 간의 간격을 75 μm 로 설계하였다. 따라서 임피던스가 증가하여 반사 손실이

표 1. 칩 발룬의 특성^[8]

Table 1. Characteristics of chip balun^[8].

Part number	2450BL15B050
Frequency [MHz]	2,400 ~ 2,500
Unbalanced impedance	50 Ω
Differential balanced imp.	50 Ω
Insertion loss	1.0 dB max.
Return loss	9.5 dB min.
Phase difference [deg]	180±10
Amplitude difference	2 dB max.

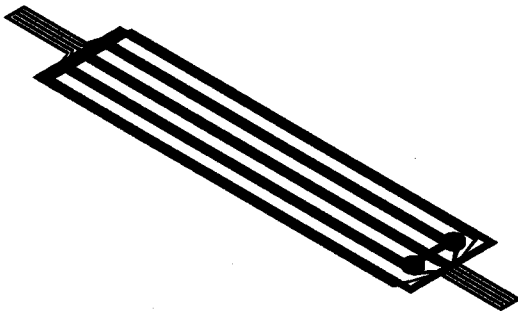


그림 7. 측정을 위한 발룬의 구조
Fig. 7. Balun for measurement.

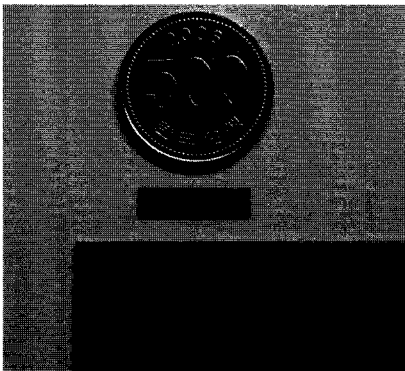


그림 8. 제작한 발룬
Fig. 8. Fabricated balun.

높게 나타났고, 기존의 선로와 커넥터 부분으로 추

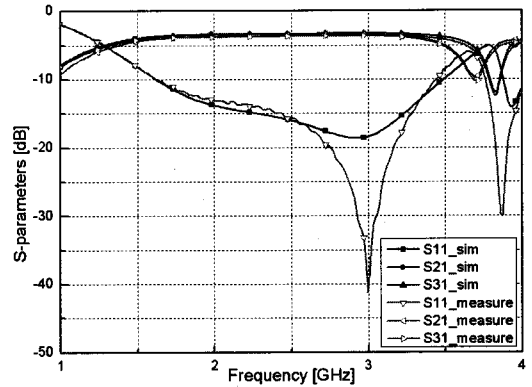


그림 9. 발룬의 반사 손실과 삽입 손실
Fig. 9. Return loss and insertion loss.

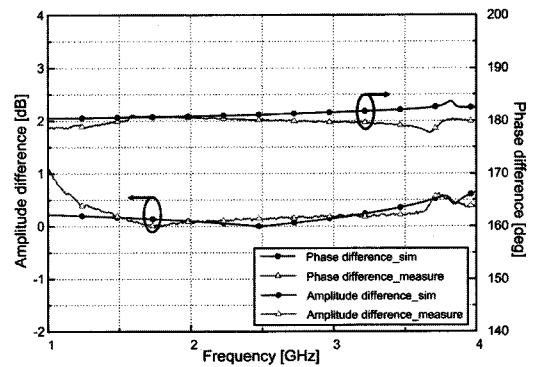


그림 10. 발룬의 삽입 손실 차이와 위상 차이
Fig. 10. Amplitude imbalance and phase difference.

가한 선로 사이에서 CPW 구조의 슬롯 크기가 변화되어 방사가 일어나 그림 9와 그림 10의 3.8 GHz 부근에서 튀는 현상을 확인할 수 있다. 실제로 응용할 때는 측정을 위한 추가 부분이 필요하지 않기 때문에 임피던스 매칭과 방사 손실을 고려하지 않아도, 그림 4의 결과와 같이 광대역의 발룬 특성을 이용할 수 있다.

시뮬레이션 결과 1.87 GHz의 대역폭(1.62 GHz ~ 3.49 GHz)을 갖고, 중심 주파수 2.55 GHz에서 반사 손실이 -16.36 dB, 삽입 손실이 각각 -3.34 dB, -3.33 dB로 나타났다. 가용 주파수 범위 내에서 최대 삽입 손실 차이와 위상 차이는 각각 0.21 dB, 1.75°로 나타났다. Probe station을 이용한 on-wafer 측정 결과, 1.81 GHz의 대역폭(1.63 GHz ~ 3.44 GHz)을 갖고, 중심 주파수 2.5 GHz에서 반사 손실이 -15.62 dB, 삽입

손실이 -3.65 dB와 -3.52 dB로 나타났다. 가용 주파수 대역에서의 삽입 손실 차이는 0.2 dB, 위상 차이는 1° 이내를 유지해 시뮬레이션 결과와도 큰 차이 없이 일치하는 특성을 보였다. 이로써 본 논문에서 제안한 광역 결합 구조의 발룬은 실제로 제작 및 응용이 가능하다는 것을 확인하였다.

3-3 선로의 폭 · 길이 조절에 따른 비교

그림 11부터 그림 14는 그림 2에 제시한 발룬의 구조에서 선로의 폭을 일정한 비율로 증가 또는 감소시켜 각각 0.27 mm와 0.15 mm로 바꾸고, 선로 간의 간격은 그대로 유지하며 선로의 길이를 10 mm와 14 mm로 변화시킨 후 해석한 결과이다. 두 결과 모두 그림 4와 비교하여 좋지 않은 특성이 나타났는데,

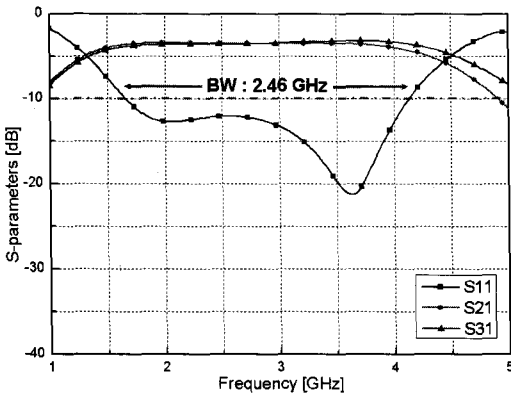


그림 11. 발룬의 반사 손실과 삽입 손실(표 2의 ①)
Fig. 11. Return loss and insertion loss(① of Table 2).

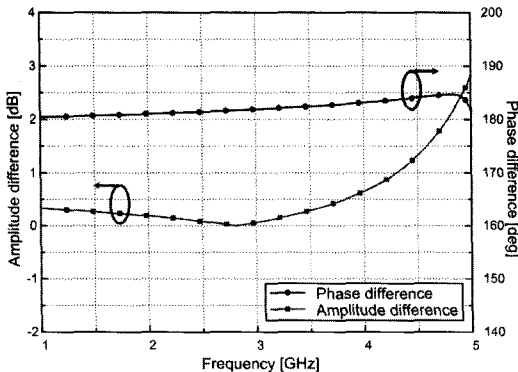


그림 12. 발룬의 삽입 손실 차이와 위상 차이(①)
Fig. 12. Amplitude imbalance and phase difference(①).

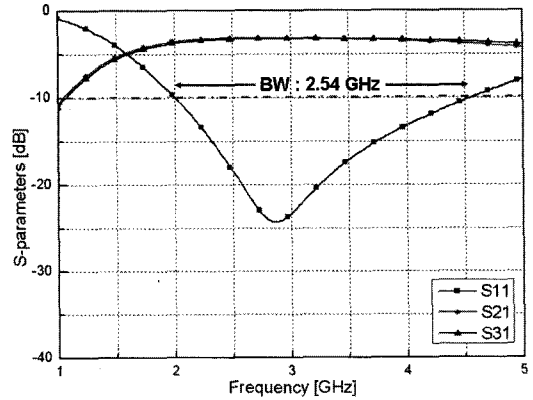


그림 13. 발룬의 반사 손실과 삽입 손실(표 2의 ③)
Fig. 13. Return loss and insertion loss(③ of Table 2).

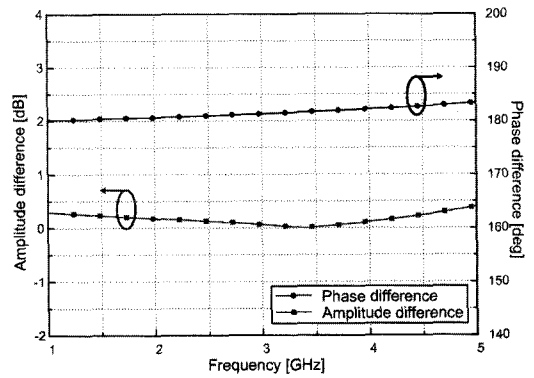


그림 14. 발룬의 삽입 손실 차이와 위상 차이(③)
Fig. 14. Amplitude imbalance and phase difference(③).

이는 선로의 폭이 변화함에 따라 임피던스 값이 변화하여 임피던스 정합이 되지 않아 입력 단에서의 반사가 증가했기 때문이다. 비록 특성은 조금 나빠졌지만 세 가지 모두 80% 이상의 광대역 특성을 보이고 발룬의 기능 역시 충분히 수행할 수 있다. 따라

표 2. 길이와 폭의 변화에 따른 비교
Table 2. Comparison of width and length change.

	S_{21}	S_{31}	A.D.	P.D.	B.W
①	-3.44 dB	-3.47 dB	-0.77 dB	3.32°	8.46%
②	-3.18 dB	-3.18 dB	-0.43 dB	2.49°	91.4%
③	-3.12 dB	-3.20 dB	-0.25 dB	2.77°	88.1%

- ① width 150 μ m, length 14 mm
- ② width 200 μ m, length 12 mm
- ③ width 270 μ m, length 10 mm

서 같은 주파수 대역에서 연결부로서의 발룬의 길이를 더 짧게, 혹은 더 길게 변화시켜야 한다면 앞에서 제시한 방법대로 선로의 폭과 길이의 조절에 의해 설계 조건을 만족시킬 수 있다.

IV. 결 론

본 논문에서는 기능성 연결부로의 응용으로 연성 인쇄 회로상의 Marchand 발룬을 제안하였다. 제안된 발룬은 결합 선로 이론을 바탕으로 설계하여 크기를 줄이면서 뛰어난 특성을 나타냈다. 측정 결과 중심 주파수 2.5 GHz에서 반사 손실이 -15.62 dB, 삽입 손실이 -3.65 dB와 -3.52 dB로 나타났고, 가용 주파수 범위(1.63~3.44 GHz) 내에서 삽입 손실 차이와 위상 차이가 각각 0.2 dB, $180 \pm 1^\circ$ 이내로 나타났다. 이처럼 제안된 발룬은 케이블의 기능과 발룬의 기능을 동시에 실현하면서 작은 크기로 넓은 대역의 특성을 갖는다. 또한 설계에 제약이 있을 경우, 선로의 폭과 길이의 조절에 의해 유사한 성능의 발룬을 다양한 조건에서 구현할 수 있다. 따라서 안테나와 RF 전단부의 연결부로 적용될 가능성이 높고, 평형 혼합기 및 증폭기 등의 입·출력 단에 사용되어 전체적인 성능을 향상시킬 수 있을 것으로 기대된다.

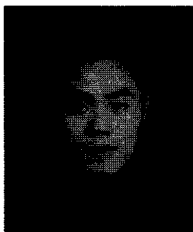
참 고 문 헌

[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, May 2001.

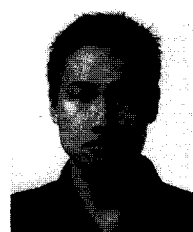
- [2] Y. J. Yoon, Y. Lu, R. C. Frye, M. Y. Lau, P. R. Smith, L. Ahlquist, and D. P. Kossives, "Design and characterization of multilayer spiral transmission-line baluns", *IEEE Trans. Microw. Theory Tech.*, vol. 46, no. 12, pp. 1841-1847, Sep. 1999.
- [3] Y. X. Guo, Z. Y. Zhang, L. C. Ong, and M. Y. W. Chia, "A novel LTCC miniaturized dualband balun", *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, vol. 16, no. 3, pp. 143-145, Mar. 2006.
- [4] 전자부품연구원, "FPCB의 업체 및 시장동향", 전자정보센터, 2005년 10월.
- [5] Z. Y. Zhang, Y. X. Guo, L. C. Ong, and M. Y. W. Chia, "A new planar marchand balun", *IEEE MTT-S International, Microwave Symposium Digest*, pp. 1207-1210, Jun. 2005.
- [6] I. J. Bahl, "Capacitively compensated high performance parallel coupled microstrip filters", *IEEE MTT-S International, Microwave Symposium Digest*, vol. 2, pp. 679-682, Jun. 1989.
- [7] R. Mongia, I. Bahl, and P. Bhartia, *RF and Microwave Coupled-Line Circuits*, Artech House, 1999.
- [8] <http://www.johansontechnology.com>

이 선 호



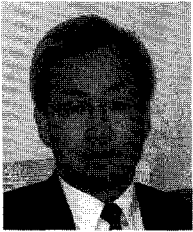
2007년 2월: 아주대학교 전자공학부 (공학사)
 2007년 3월~현재: 아주대학교 전자공학부 석사과정
 [주 관심분야] 초고주파 수동 소자 개발 및 RFIC

주 성 호



2006년 2월: 아주대학교 전자공학부 (공학사)
 2006년 3월~현재: 아주대학교 전자공학부 석사과정
 [주 관심분야] 초고주파 수동 소자 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: LG 기술원 (기초 1실장)

1992년~현재: 아주대학교 전자공학부 정교수

[주 관심분야] 고속/고밀도 System in Package, RF 소자 및 광전소자의 설계/측정, 고속 반도체 테스트 기술