

다단 윌킨슨 구조의 초광대역 CPW 발룬

Ultra Wideband CPW Baluns Having Multistage Wilkinson Structure

임종식 · 박웅희* · 정용채** · 안 달 · 오성민 · 구재진 · 김광수***

Jong-Sik Lim · Ung-Hee Park* · Yong-Chae Jeong** · Dal Ahn · Seongmin Oh ·
Jae-Jin Koo · Kwangsoo Kim***

요 약

본 논문에서는 초광대역 CPW(Coplanar Waveguide) 발룬을 제안한다. 제안된 발룬에는 초광대역을 위한 다단 윌킨슨 전력 분배기 구조와 CPW의 “X”-형태의 180°의 위상차 생성 구조를 갖는다. 또한 CPW 선로에 필요한 접지간 연결을 위하여 bottom-bridge와 via-hole을 사용하는 방법을 제안하여 HMIC(Hybrid Microwave Integrated Circuits) 제작 공정에서 CPW 회로 제작을 편리하게 하였다. 제안된 발룬은 이론적으로 3 또는 10의 초광대역 주파수 대역폭(=F_{high}/F_{low})을 갖는데, 윌킨슨 분배기의 초광대역 주파수 특성과 S-파라미터 특성을 그대로 발룬의 특성으로 전환된다. 제안된 발룬은 180° 위상차 생성을 위한 별도의 추가적인 면적을 요구하지 않으므로, 설계의 바탕이 되는 전력 분배기와 같은 크기를 갖는다. 예로써 제작한 3단과 7단 분배기 구조의 발룬은 각각 1~3 GHz, 0.8~5 GHz의 주파수 대역에서 우수한 정합 특성, 출력 단자간 격리 특성, ±0.5 dB과 ±0.45 dB의 전력분배비 에러를 보여주고 있다. 또한 출력 단자간 위상차 에러는 각각 ±5°와 ±10°이다.

Abstract

Ultra wideband CPW baluns are proposed in this paper. The proposed baluns are consisted of ultra wideband multi-stage Wilkinson dividers and “X”-shaped 180° out-of-phase generator. Bottom-bridges and via-holes are used to connect CPW ground lines instead of the conventional air-bridges which require troublesome manual working in fabrication with HMIC(Hybrid Microwave Integrated Circuits) substrates. The proposed CPW baluns have ultra wideband of 3 or 10(=F_{high}/F_{low}) theoretically, the wideband characteristics and S-parameters of the basis Wilkinson divider are directly converted to those of the proposed baluns. The proposed baluns are so compact and small compared to the conventional Wilkinson baluns because no additional area for out-of-phase section is required. So the size of the proposed baluns is exactly the same as that of the basis Wilkinson dividers. As examples, 3-stage and 7-stage wideband Wilkinson dividers are converted to the proposed baluns. Their measured operating bandwidth are 1~3 GHz and 0.8~5 GHz, respectively, with excellent matching, isolation and power division performances. The measured magnitude and phase balance errors are ±0.5 dB and ±0.45 dB, and ±5° and ±10° over 1~3 GHz and 0.8~5 GHz, respectively.

Key words : Wilkinson Structure, Balun, CPW, Ultra Wideband

I. 서 론

안테나 및 안테나 측정 관련 시스템, 주파수 혼합

순천향대학교 정보기술공학부(Division of Information Technology Engineering, Soonchunhyang University)

*강원대학교 전자정보통신공학부 전자공학전공(Department of Electronics, Kangwon National University)

**전북대학교 전자정보공학부(Division of Electronics and Information Engineering, Chonbuk National University)

***대구경북과학기술연구원(Daegu Gyeongbuk Institute of Science & Technology)

· 논문 번호 : 20060515-052

· 수정완료일자 : 2006년 8월 1일

기, 고출력 증폭기 및 선형화기 시스템 등과 같은 무선 통신 관련 회로나 시스템에서 있어서 두 출력간 위상차가 180°가 되도록 전력을 분배하거나, 또는 반대의 위상을 가진 두 입력을 결합하는 응용이 자주 사용된다. 이런 응용에 반드시 필요한 회로 소자가 발룬(balun)이다. 발룬의 형태는 매우 다양하게 존재하는데, 구조의 단순성과 설계 및 사용에 있어서의 친근성 때문에 윌킨슨 분배기 형태의 발룬(이하 “윌킨슨 발룬”으로 부르기로 하자)도 자주 이용되는 구조이다.

윌킨슨 구조는 전력 분배기로서의 기본 구조로서는 물론이고, 매우 다양한 형태로 자주 응용되는 회로이다^{[1],[2]}. 윌킨슨 분배기의 기본 1단 구조는 협대역 특성을 보이기 때문에 광대역 특성을 위해서는 다단으로 구성해야 한다. 가령 3-단 윌킨슨 분배기의 경우에 $F_{low}:F_{high}=1:3$ 의 광대역 특성을 얻을 수 있다^{[3]-[6]}. 만약에 이론적으로 $F_{low}:F_{high}=1:10$ 의 초광대역 특성을 얻고자 한다면 7단 윌킨슨 구조가 필요하다.

초광대역 윌킨슨 분배기를 CPW로 구현했을 경우에, CPW의 구조적인 특성을 잘 활용하여 180° 위상 반전부를 전송 선로에 삽입해 주면, 윌킨슨 분배기에 비하여 크기나 주파수 대역, S-파라미터 특성에 손해(degradation)가 없는 초광대역 윌킨슨 분배기 구조의 발룬을 설계할 수 있다. 본 논문에서 제안하는 발룬은 윌킨슨 분배기의 초광대역 특성이 그대로 유지되며, 발룬 회로를 위한 별도의 추가적인 면적이 불필요하여 윌킨슨 분배기와 동일한 크기를 갖는다.

한편, HMIC 제작 기법으로 CPW 회로를 구현할 경우에, 접지 선로 간에 다수의 air-bridge를 번거로운 수작업으로 구현하여야 하는 어려움이 생긴다. 본 논문에서는 이 문제를 해결하고자 air-bridge 대신 bottom bridge와 via-hole을 사용하여, 자동화된 PCB 제작 공정으로 CPW 회로를 제작하는 방법을 사용하였다.

II. 다단 광대역 윌킨슨 분배기

윌킨슨 전력 분배기는 매우 간단하면서도 응용력이 뛰어난 전력 분배기이다. 그래서 전력 분배기로서의 기본적인 기능은 물론이고, 발룬과 같은 다른 용도로도 널리 응용된다. 윌킨슨 전력 분배기는 기

본적으로 두 출력 단자의 위상이 동 위상인 전력 분배기이다. 따라서 발룬으로 사용하기 위해서는 두 출력 단자의 위상이 서로 반대가 되는 구조를 첨가해야 한다.

대역폭의 관점으로 보면 윌킨슨 분배기의 1단 기본 구조는 대역폭이 좁다. 그림 1은 Agilent ADS (Advanced Design System)로 확인해 본 이상적인 윌킨슨 전력 분배기의 특성을 보여주고 있다. 각 단자의 정합도(matching)와 두 출력 단자간의 격리도(isolation)를 -25 dB 기준으로 대역폭을 취했을 때 이상적인 특성이라 하더라도 20 % 정도이다. 그리고 실제로 구현하는 과정에서 각종 손실 요인이 발생할 것이므로 대역폭은 더욱 좁아진다. -15 dB의 정합도와 격리도를 대역폭의 기준으로 취한다고 해도 이상적으로 50 % 정도의 대역폭을 얻을 수 있을 뿐이다. 따라서 윌킨슨 분배기 기본 구조는 그 자체가 대역폭이 좁기 때문에, 이를 응용한 발룬도 여전히 대역폭이 좁을 수밖에 없다.

협대역 문제를 해결하기 위하여 다단 윌킨슨 전력 분배기 구조를 취하고, 여기에 위상 반전 구조를 삽입하여 발룬을 제작하는 방법이 있다. 만약에 100 % FBW(Fractional BW)를 원하는 경우, $F_{low}:F_{high}=1:3$ 이므로 이를 위해서 최소 3단 구조가 필요하며, 1:10의 비율을 얻기 위해서는 7단 구조가 필요하다. 그

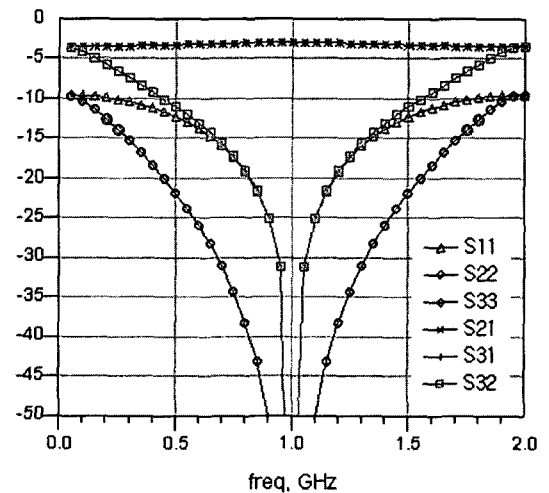


그림 1. 1단 윌킨슨 분배기 구조의 이상적인 특성
Fig. 1. Ideal characteristics of the 1-stage Wilkinson divider.

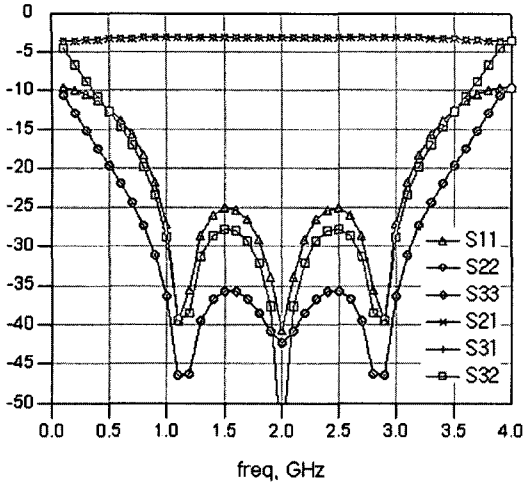


그림 2. 3단 광대역 윌킨슨 분배기의 이상적인 특성
Fig. 2. Ideal characteristics of a 3-stage Wilkinson divider.

림 2는 예로써 이상적인 전송 선로 소자로 구성된 3단 윌킨슨 분배기의 이상적인 특성이다. 단자 정합과 격리도를 -25 dB 기준으로 했을 때 100%의 FBW에 해당하는 광대역 특성을 얻을 수 있다.

III. 종래의 윌킨슨 구조의 발룬

종래에 발표된 윌킨슨 발룬들은 윌킨슨 분배기의 두 출력 단자에 서로 반대의 위상 특성을 생성하는 회로가 부가하여 구성되었다. 종래에 제안된 윌킨슨 발룬의 대표적인 회로의 구성도가 그림 3에 제시되어 있다. 이 구조는 윌킨슨 분배기의 두 출력 단자에 결합기를 각각 연결한 후, 결합기의 through 단자와 coupling 단자에 open, short termination을 각각 연결하고, isolation 단자를 발룬의 출력 단자로 사용하는 구조이다.

이 구조를 완성하기 위하여 레인지 결합기(range coupler)나 두 선로가 동심축을 구성하는 sage wire를 이용하여 광대역 결합기를 구성하여 설계하는 방법이 이미 제시되었다^{[5],[6]}. 그러나 레인지 결합기는 극히 정밀도가 우수한 제작을 필요로 하기 때문에 제작 오차에 따른 성능상의 변화가 커서 HMIC 제작 기법으로는 쉽게 접근할 수 없다는 단점이 있다. 그리고 윌킨슨 분배기와 별도로 추가되는 180° 위상차 생성용 결합기 부분에 의한 크기가 커진다는 문제

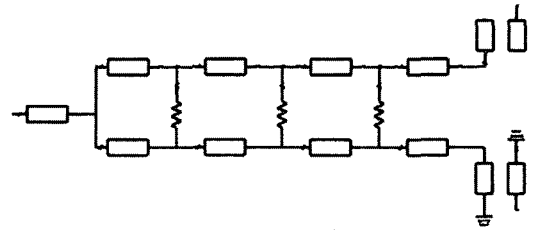


그림 3. 광대역 윌킨슨 분배기와 결합기를 이용한 발룬
Fig. 3. Balun with the wide band Wilkinson divider and couplers.

가 있다. 또한 sage wire를 이용한 결합기의 경우 HMIC 제작 기법으로 접근할 수는 있으나 윌킨슨 분배기의 뒷부분에 추가적으로 연결되는 부분의 크기가 커서 결과적으로 발룬의 크기가 매우 커지는 단점이 있다.

그러나 결합기를 이용한 종래의 윌킨슨 발룬 구조의 더 큰 문제는 주파수 대역폭에 있다. 설령 윌킨슨 분배기가 다단으로 구성되어 광대역의 특성을 갖는다 하더라도, 일반적으로 결합기 자체의 주파수 대역이 광대역 윌킨슨 분배기보다 더 넓지 못하다는 점이 문제가 된다. 따라서 180° 위상차 생성부 회로의 주파수 대역폭이 다단 윌킨슨 분배기의 광대역 특성보다 좁으므로 결합기 특성이 최종적인 발룬의 대역폭을 제한하는 문제점으로 작용하는 것이다. 결론적으로 윌킨슨 분배기의 광대역 특성을 그대로 발룬의 광대역으로 옮겨가기 위해서는 180° 위상차 생성부의 주파수 특성이 윌킨슨 분배기의 대역폭을 제한하지 않아야 한다.

IV. 제안하는 CPW 발룬

4-1 180° 위상차 생성부

CPW 전송 선로는 마이크로스트립 선로와 달리 기판의 바닥에 있는 금속면이 모두 제거되고, 전송 선로와 같은 평면에 접지 금속면이 존재하는 선로이다. 그런데 유한 접지면을 지닌 CPW나 CPS(Coplanar Strip) 구조에 있어서 신호선과 접지선을 서로 "X"-형태로 교차시키면 180°의 위상 반전을 얻을 수 있다는 사실이 이미 널리 알려져 있다^{[7]-[9]}.

그림 4(a)는 CPW 전송 선로에서 접지선과 신호선

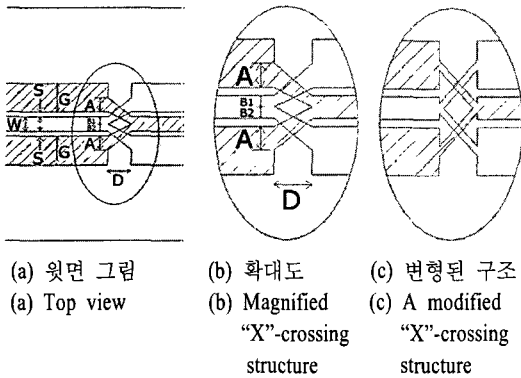


그림 4. 180° 위상 반전을 얻기 위한 CPW 구조
Fig. 4. CPW structure for 180° phase converting.

과의 X-형태 교차 구조를 확대하여 보여주고 있다. 신호와 접지선이 순간적으로 교차되므로 위상차가 180°가 얻어진다. 그리고 이 구조에서 얻어진 위상차는 주파수에 무관하게 얻어지는 특성이므로 광대역에 걸쳐서 위상 변환이 일어난다. 따라서 광대역 윌킨슨 분배기의 주파수 대역이 손상당하지 않고 그대로 발룬의 주파수 대역으로 전환된다는 장점이 있다.

그림 4를 실제로 제작하기 위해서는 그림 5에 보인 바와 같은 3차원적이 교차 구조가 필요한데, 이를 종래의 방법인 air-bridge로 구현할 수 있다. 그림 5(b)는 실제로 제작한 경우에 대한 사진을 보여주고 있다.

4-2 Bottom-Bridge

CPW 선로는 다수의 air-bridge 연결을 필요로 한다는 점이 단점으로 지적된다. MMIC(Monolithic Microwave Integrated Circuits) 공정이나 LTCC(Low Tem-

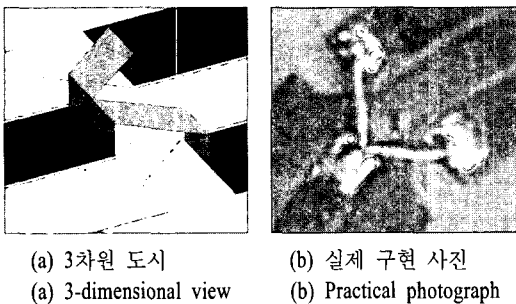


그림 5. 180° 위상 반전을 위한 air-bridge 구조
Fig. 5. Air-bridge structure for 180° out-of-phase.

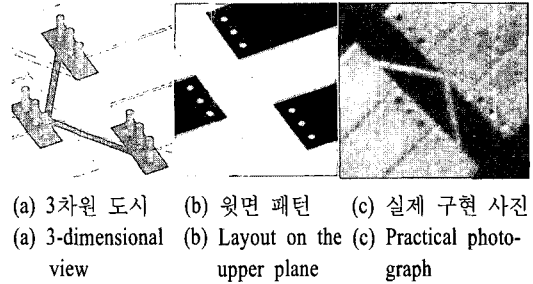


그림 6. 180° 위상 반전을 위한 bottom-bridge 구조
Fig. 6. Bottom-bridge structure for 180° out-of-phase.

perature Co-fired Ceramic) 공정과 같은 정밀 제작에서는 문제가 없겠으나, HMIC 제작 공정에서는 수작업에 의한 air-bridge 연결이 대단히 번거롭고 힘든 일이 아닐 수 없다. 더구나 수작업에 의한 다수의 air-bridge 연결마다 균일성(uniformity)이 보장되지도 않는다.

본 논문에서는 가격이 저렴한 HMIC 공정을 활용하면서도 CPW 접지 선로간의 균일한 연결과 편리한 제작을 위하여 그림 6과 같은 bottom-bridge 구조를 사용하였다. 그림 6에 보인 바와 같이 bottom-bridge에 의한 접지 선로간 연결을 위해서는 via-hole이 필요하다. 제안한 방법을 통하여 다수의 bridge 연결과 via-hole을 자동화된 PCB 제작 공정으로 해결할 수 있다.

4-3 CPW 발룬 회로

어떠한 형태의 bridge가 되었든, X-형태 교차 구조를 이용한 180° 위상차 생성 부분은 CPW 전송 선로에 추가적인 면적을 요구하지 않는다. 따라서 이 부분을 광대역 윌킨슨 분배기에 삽입하면 본 논문에서 제안하는 발룬이 완성된다. 제안하는 발룬은 별도의 결합기를 사용하는 것이 아니므로 광대역 윌킨슨 분배기의 크기와 동일하다. 즉, 추가적인 면적을 필요로 하지 않는 소형의 발룬을 얻을 수 있다.

그림 7은 3단 CPW 초광대역 발룬 회로를 이상적인 CPW 선로 소자로 구성한 스케매틱 회로와 이상적인 특성을 보여주고 있다. 단자 3에는 별도의 크기 변화 없이 180° 위상차 생성부가 추가되어 있다. 제시된 발룬은 180° 위상차 생성부가 없는 윌킨슨 분배기와 동일한 S-파라미터를 가지면서 두 출력단

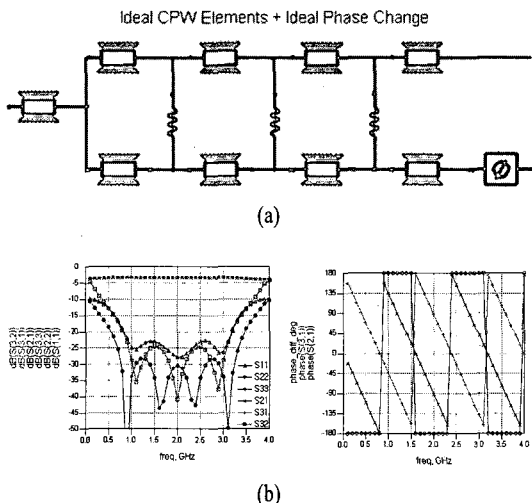


그림 7. (a) CPW 3단 초광대역 발룬, (b) 이상적인 S-파라미터와 위상 특성
 Fig. 7. (a) 3-stage ultra wide-band CPW balun, (b) Ideal S-parameters and phase characteristics.

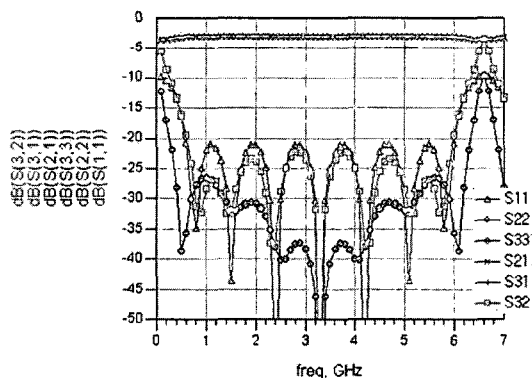


그림 8. CPW 7단 초광대역 발룬의 이상적인 S-파라미터 특성
 Fig. 8. Ideal S-parameters of the 7-stage ultra wide-band CPW balun.

자에서의 위상차는 반대이다.

한편 $F_{low} \cdot F_{high} = 1:10$ 의 초광대역을 얻고자 한다면 7단의 윌킨슨 구조를 필요로 한다. 그림 8은 이상적인 전송 선로 소자들을 이용하여 ADS로 추측해 본 0.6~6 GHz 대역의 윌킨슨 전력 분배기의 이상적인 특성이다. 실제로 이 특성을 얻기 위해서는 모든 이상적인 조건이 만족되어야만 할 것이다.

V. 발룬의 제작 및 측정

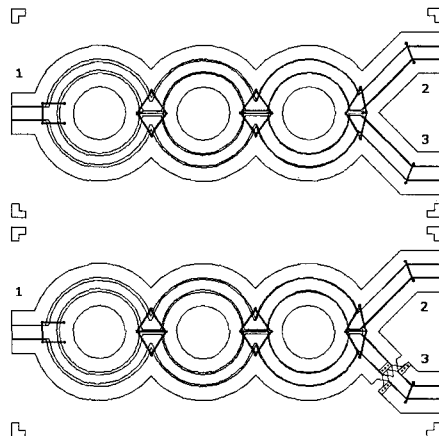


그림 9. CPW 3단 초광대역 윌킨슨 분배기와 발룬의 레이아웃
 Fig. 9. Layouts of the CPW 3-stage ultra-wide band Wilkinson divider and balun.

5-1 3단 윌킨슨 분배기 구조의 발룬

그림 9는 유전율이 2.2이고 두께가 31 mils인 기판으로 설계한 1~3 GHz 대역의 3단 CPW 광대역 윌킨슨 분배기와 발룬의 레이아웃을 보여준다. 바닥면에 다수의 bottom-bridge와 via hole이 삽입되어 있다. 이 그림에서 알 수 있듯이 설계된 발룬은 그 바탕이 되는 윌킨슨 분배기와 동일한 크기를 갖는다. 따라서 종래의 윌킨슨 발룬에서 보이는 180° 위상차 생성을 위한 추가적인 면적이 전혀 불필요하다.

그림 10은 그림 9에 제시한 발룬을 실제로 제작한

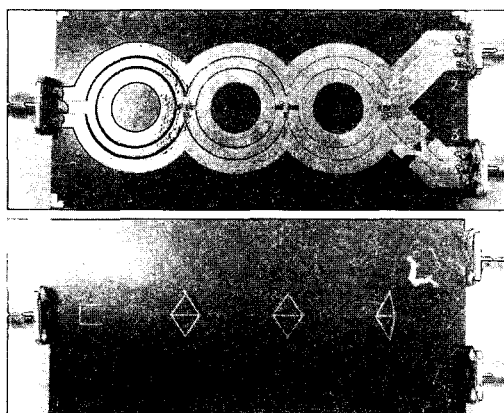


그림 10. 3단 윌킨슨 발룬의 앞, 뒷면 제작 사진
 Fig. 10. Upper and lower plane of the fabricated 3-stage Wilkinson CPW balun.

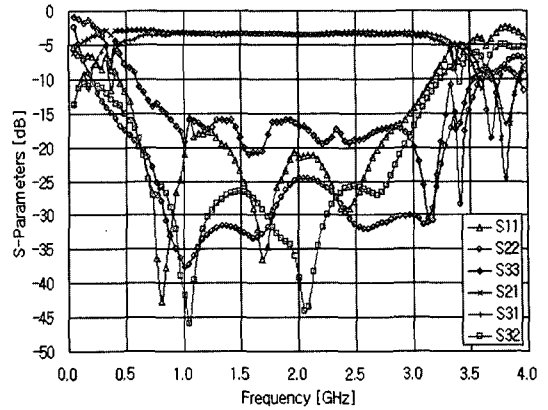
사진이다. 이상적인 CPW 소자로 이루어진 그림 7(a)에 비하여 다수의 불연속 소자(discontinuity elements)들이 포함되어 있다. 불연속 소자에는 직선이 아닌 원형의 CPW 선로, 서로 다른 임피던스를 갖는 CPW 선로들의 접합, CPW band, bottom-bridge, via-hole, 격리 저항의 접합 부분 등이 포함된다. 이러한 불연속 접합들은 실제 회로의 레이아웃 구성에 필요하기 때문에 포함되는데, 이로 인하여 실제 성능상에 손상(degradation)이 발생하게 된다.

그림 11은 측정된 3단 CPW 초광대역 발룬의 특성을 보여주고 있다. 1~3 GHz의 광대역 주파수 대역에서 각 단자에서의 정합(S_{11} , S_{22} , S_{33})은 -15 이하, 두 두 출력 단자간 격리도(S_{32})는 -17 dB 이하, 출력 단자에서의 전력 분배 에러는 ± 0.5 dB, 위상차 에러는 $\pm 5^\circ$ 이내이다. CPW 회로의 특성상 실제 제작 과정에서 다수의 불연속 소자 삽입과 이에 따른 성능의 저하가 예상되었음에도 불구하고, 처음 기대한 광대역 주파수에서 매우 우수한 특성이 얻어졌음을 알 수 있다.

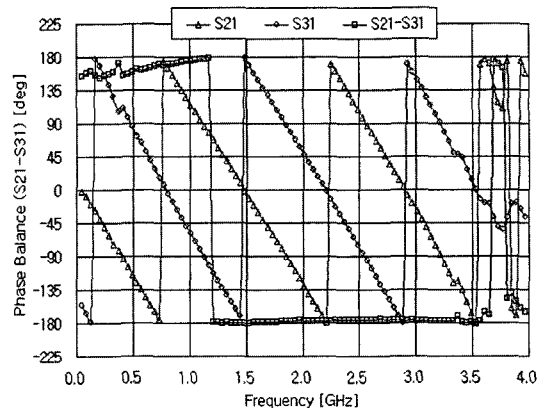
5-2 7단. 윌킨슨 분배기 구조의 발룬

제한한 방법으로 600~6,000 MHz 대역을 목표로 하여 7단 윌킨슨 구조를 이용하여 1:10 발룬을 설계, 제작하였다. 그림 12는 7단 CPW 윌킨슨 분배기와 발룬을 보여주고 있다. 7단 구조에 있어서도 3단 구조의 경우와 마찬가지로 180° 위상차 생성부가 삽입되어 있어서도 발룬의 크기는 분배기와 동일하다. 180° 위상차 생성부에 의한 주파수 대역폭의 제한이 없다면 윌킨슨 분배기의 주파수 대역과 S-파라미터 성능이 그대로 발룬의 주파수 대역과 특성으로 전환되어야 한다.

7단 발룬의 전기적 특성 비교 데이터 확보를 위하여 먼저 7단 윌킨슨 분배기의 주파수 대역과 S-파라미터 특성을 측정하였다. 그림 13(a)는 측정된 전력 분배 성능, 각 단자에서의 정합, 그리고 출력 단자간 격리 특성을 보이고 있다. 그림 8과 같은 이상적인 1:10 특성을 얻기 위해서는 이상적인 전송 선로만으로 구성되어야 하나, 실제로는 다수의 불연속 소자, bottom-bridge 연결선, via-hole 등의 추가로 인한 주파수 대역폭의 제한 현상이 현실화되어 800~5,000



(a) S 파라미터
(a) S-parameters



(b) 위상
(b) Phase

그림 11. CPW 3단 초광대역 윌킨슨 발룬의 측정된 성능

Fig. 11. Measured data of the 3-stage ultra wideband CPW balun.

MHz 정도의 대역폭을 갖는 것으로 측정되었다. 그러나 측정된 대역폭 내에서의 S-파라미터 특성은 윌킨슨 분배기로서의 우수한 특성을 유지하고 있다.

그림 13(b)는 7단 윌킨슨 발룬의 측정 데이터를 보여주고 있다. 이미 7단 윌킨슨 분배기의 측정 결과에서 전송 선로 소자들의 비이상적인 조건으로 인하여 대역폭 제한이 있었으므로, 발룬에서는 이것보다는 우수한 대역폭을 기대하기는 힘들다는 것을 예상할 수 있다. 그럼에도 불구하고 그림 13(b)의 측정 성능을 보면 그림 13(a)의 대역폭이나 S-파라미터 성능들과 상당히 유사함을 알 수 있다. 따라서 180° 생성부에 의한 주파수 대역폭 제한 현상은 거의 없

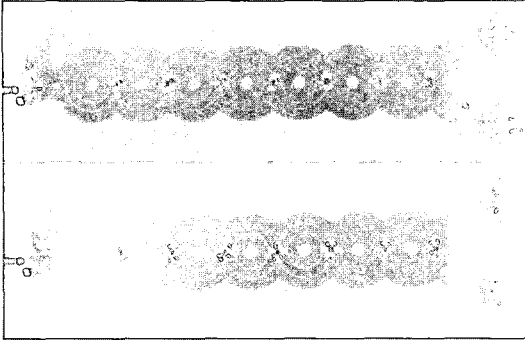


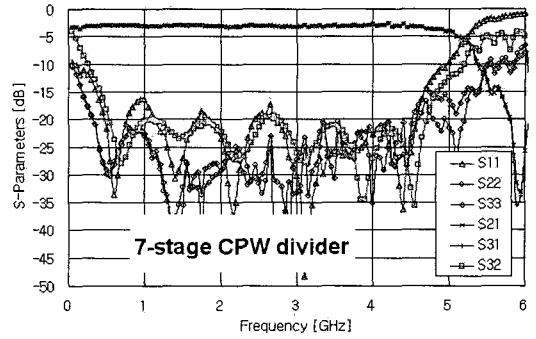
그림 12. 7단 CPW 윌킨슨 분배기와 발룬의 사진
Fig. 12. Fabricated 7-stage CPW Wilkinson divider and balun.

다는 것을 알 수 있다.

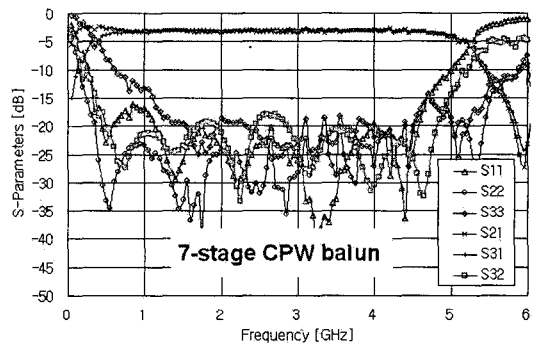
그림 13(c)는 측정된 7단 분배기와 발룬의 전력 분배(S_{21} , S_{31}) 특성을 따로 그린 것이다. 발룬의 경우에 두 출력간의 크기 차이가 ± 0.45 dB 이내의 에러를 보이는 대역은 800~5,000 MHz로 측정되었다. 광대역 주파수 특성의 경우, 이미 (a)에서 분배기의 주파수 대역이 5 GHz로 제한되었음을 고려한다면, 발룬에서도 거의 같은 주파수 제한이 이루어지고 있음을 알 수 있다. 따라서 윌킨슨 분배기에서 얻을 수 있는 주파수 대역폭과 S-파라미터 성능들이 그대로 발룬으로 전환되었다는 것을 증명하고 있다.

그림 14는 7단 CPW 발룬 회로의 위상 특성을 보여주고 있다. 800~5,000 MHz의 광대역에서 두 출력 단자에서의 위상차 에러가 $\pm 10^\circ$ 이내이다. 3단 CPW 발룬의 경우에 $\pm 5^\circ$ 의 에러값을 가졌는데, 다수의 CPW 불연속 소자에 의한 주파수 대역 제한에 기인한 에러의 증가로 해석된다.

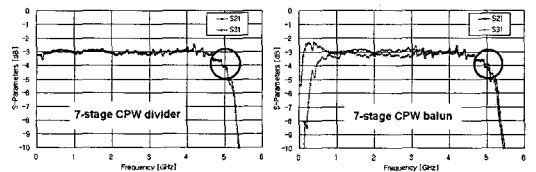
한편 그림 11의 3단 CPW 발룬 측정 결과를 보면 목표 주파수 1~3 GHz에서 충분히 발룬 특성을 얻었으나, 7단 CPW 발룬에서는 5 GHz 근처에서 주파수 대역폭 제한이 보이고 있음을 알 수 있다. 이로부터 HMIC 공정에 의한 CPW 회로 제작시 각종 불연속 소자에 의한 주파수 대역폭의 제한 현상이 본 논문에서 사용한 기판에 대하여는 5 GHz 바로 아래에서부터 시작되는 것으로 판단된다. 만약에 극히 정밀한 제작이 가능한 MMIC나 LTCC 제작 기술을 활용하여 via-hole이 없는 air-bridge로 제작하면 주파수 대역폭이 보다 확장될 것으로 기대된다.



(a) 분배기
(a) Divider



(b) 발룬
(b) Balun



(c) 분배기와 발룬의 전력 분배 성능
(c) Power dividing performances of the divider and balun

그림 13. CPW 7단 초광대역 윌킨슨 분배기와 발룬의 측정된 성능

Fig. 13. Measured data of the 7-stage ultra wideband CPW divider and balun.

VI. 맺음말

본 논문에서는 초광대역 다단 윌킨슨 전력 분배기 구조, CPW 선로의 신호선과 접지선의 교차에 의한 180° 위상 생성부, 복잡하고 어려운 air-bridge 작업을 피하기 위하여 HMIC 공정의 장점을 활용한 bottom-bridge와 via-hole 제작 기법 등을 이용하여 초광대역 CPW 발룬의 설계와 측정 결과에 대하여 언

참 고 문 헌

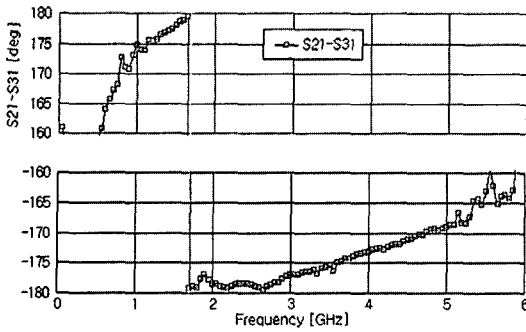


그림 14. CPW 7단 초광대역 윌킨슨 발룬의 측정된 위상 특성
Fig. 14. Measured phase data of the 7-stage ultra wideband CPW balun.

급하였다.

제시한 구조의 발룬은 종래의 윌킨슨 발룬에서 보이는 180° 위상차 생성부를 위한 추가적인 면적이거나 제작 과정을 요구하지 않으며, 바탕이 되는 윌킨슨 분배기와 동일한 크기를 갖는다. 또한 180° 위상차 생성부의 주파수 특성이 광대역이므로 다단 윌킨슨 분배기의 주파수 대역폭이 전혀 손상되지 않고 그대로 광대역 발룬으로 전환된다.

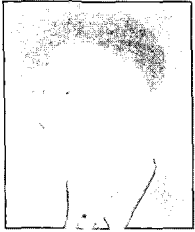
예로서 3단 및 7단 광대역 윌킨슨 전력 분배기와 발룬을 설계하고 제작하였다. 제작된 발룬 특성은 분배기의 특성을 그대로 유지하였으며 주파수 대역폭도 동일하였다. 3단의 경우에 1~3 GHz 주파수 대역에서 우수한 S-파라미터 특성, ±0.5 dB의 분배비 에러, ±5°의 위상차 에러를 가졌다. 또한 7단의 경우에 800~5,000 MHz에서 우수한 S-파라미터 특성, ±0.45 dB의 분배비 에러, ±10°의 위상차 에러를 가졌다.

만약에 MMIC나 LTCC 공정과 같은 정밀 제작이 가능한 기술을 활용하면, via-hole과 bottom-bridge 대신에 air-bridge를 정밀하게 구현하여 주파수 대역폭 제한 현상을 제거하여 지금보다 더 넓은 광대역 특성을 얻을 수 있을 것으로 기대할 수 있다.

그러나 현재 측정된 성능만으로도 제안된 발룬은 초광대역의 특성을 보이고 있으므로 광대역 특성이 요구되는 각종 무선 통신 시스템이나 안테나 측정 시스템 등에 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

- [1] E. J. Wilkinson, "An N-way hybrid power divider", *IRE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. MTT-8, pp. 116-118, Jan. 1960.
- [2] Jong-Sik Lim, Dong-Joo Kim, Yong-Chae Jeong, and Dal Ahn, "A size-reduced CPW balun using a "X"-crossing structure", *35th European Microwave Conference Proceedings*, Paris, pp. 521-524, Oct. 2005.
- [3] L. Young, "Tables for cascaded homogeneous quarter-wave transformers", *IRE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. MTT-7, no. 4, pp. 233-328, Apr. 1959.
- [4] Seymour B. Cohn, "A class of broadband three-port TEM-mode hybrids", *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. MTT-16, no. 2, pp. 110-116, Feb. 1968.
- [5] J. Rogers R., Bhatia, "A 6 to 20 GHz planar balun using a Wilkinson divider and lange couplers", *IEEE MTT-S Digest*, p. 865, 1991.
- [6] Ung-Hee Park, Jong-Sik Lim, "A 700-to 2,500-MHz microstrip balun using a Wilkinson divider and 3-dB quadrature couplers", *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 47, no. 4, pp. 333-335, Nov. 2005.
- [7] T. Wang, K. Wu, "Size-reduction and band-broadening design technique of uniplanar hybrid ring coupler using phase inverter for M(H)HIC's", *IEEE MTT Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 47, no. 2, pp. 198-206, Feb. 1999.
- [8] C. W. Kao, C. H. Chen, "Miniaturized uniplanar 180° hybrid-ring couplers with 0.8 λ_g and 0.67 λ_g circumferences", *2000 Asia Pacific Microwave Conference Proceedings*, pp. 217-220, Dec. 2000.
- [9] M. H. Murgulescu, E. Moisan, P. Leguad, E. Penard, and I. Zaquine, "New wideband 0.67 λ_g circumferences 180° hybrid ring coupler", *Electronics Letters*, vol. 30, no. 4, pp. 299-300, Feb. 1994.

임 종 식



1991년 2월: 서강대학교 전자공학과 (공학사)
 1993년 2월: 서강대학교 전자공학과 (공학석사)
 2003년 2월: 서울대학교 전기컴퓨터공학부 (공학박사)
 1993년 2월~1999년 3월: 한국전자

통신연구원 위성통신기술연구단 무선방송기술연구소 선임연구원
 2003년 3월~2003년 7월: 서울대학교 BK21 정보기술사업단 박사후 연구원
 2003년 7월~2004년 9월: 특허청 특허심사관
 2004년 9월~2005년 2월: 한국전자통신연구원 디지털방송연구단 전파기술연구그룹 선임연구원
 2005년 3월~현재: 순천향대학교 정보기술공학부 교수
 [주 관심분야] 초고주파 무선 회로/부품 설계, 능동/수동 소자 모델링 및 회로 응용, 주기 구조의 모델링 및 회로 응용 등

안 달



1984년 2월: 서강대학교 전자공학과 (공학사)
 1986년 2월: 서강대학교 전자공학과 (공학석사)
 1990년 8월: 서강대학교 전자공학과 (공학박사)
 1990년 8월~1992년 2월: 한국전자

통신연구원 선임연구원
 1992년 3월~현재: 순천향대학교 정보기술공학부 교수
 [주 관심분야] RF, 마이크로파 수동소자 해석 및 설계 등

박 응 회



1994년: 서강대학교 전자공학과 (공학사)
 1996년: 서강대학교 전자공학과 (공학석사)
 2000년: 서강대학교 전자공학과 (공학박사)
 2000년~2006년 8월: 한국전자통신

연구원 디지털방송연구단, 전파방송연구단 선임연구원
 2006년 8월~현재: 강원대학교 전자정보통신공학부 전자공학전공 교수
 [주 관심분야] 초고주파 회로 설계

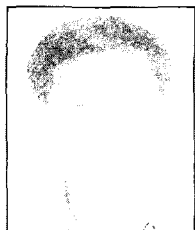
오 성 민



2006년 2월 : 순천향대학교 정보기술공학부 (공학사)
 2006년 3월~현재: 순천향대학교 전기공학과 석사과정
 [주 관심분야] 초고주파 무선 회로/부품 설계, 능동/수동 소자 모델링 및 회로 응용, 주기 구조의 모

델링 및 회로 응용 등

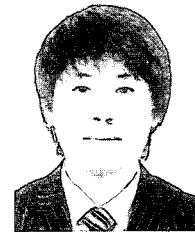
정 용 채



1989년 2월: 서강대학교 전자공학과 (공학사)
 1991년 2월: 서강대학교 전자공학과 (공학석사)
 1996년 8월: 서강대학교 전자공학과 (공학박사)
 1991년 2월~1998년 2월: 삼성전자

정보통신본부 선임연구원
 1998년 3월~현재: 전북대학교 전자정보공학부 교수 및 전북대학교 IDEC WG 책임교수
 [주 관심분야] RF 및 Microwave 회로 해석 및 설계, 전력 증폭기 및 선형화기 설계 등

구 재 진



2006년 2월: 순천향대학교 정보기술공학부 (공학사)
 2006년 3월~현재: 순천향대학교 전기공학과 석사과정
 [주 관심분야] 초고주파 무선 회로/부품 설계, 능동/수동 소자 모델링 및 회로 응용, 주기 구조의 모

델링 및 회로 응용 등

김 광 수



1981년 2월: 서강대학교 전자공학과 (공학사)

1983년 2월: 서강대학교 전자공학과 (공학석사)

1993년 2월: 서강대학교 전자공학과 (공학박사)

1983년 2월~1998년 12월: 한국전자통신연구원 책임연구원

1999년 1월~ 2005년 4월: 정보통신연구진흥원 책임연구원

2005년 4월~현재: 대구경북과학기술연구원 책임연구원
[주 관심분야] 반도체 소자의 초고주파 회로 응용 등