

윌킨슨 분배기와 90도 위상차 분배기를 이용한 RF 마이크로스트립 발룬

A RF Microstrip Balun Using a Wilkinson Divider and 3-dB Quadrature Couplers

박 응 희 · 임 종 식* · 김 종 면

Ung-Hee Park · Jong-Sik Lim* · Joung-Myoun Kim

요 약

3단 윌킨슨 분배기와 등전력 90도 위상차 커플러를 이용하여 발란스드 수신 다이폴 안테나를 위한 저손실 구조의 RF 마이크로스트립 발룬을 설계 및 제작하였다. 광대역 전력 분배를 위해 사용된 윌킨슨 분배기는 Cohn에 의해 제안된 최적의 3단 전력분배기 구조와 이를 이용한 소형화된 3단 전력분배기를 이용하여 구현하였으며, 180도 위상차를 위해 사용된 등전력 90도 위상차 커플러는 이중 권선 케이블 선로를 이용하였다. 제작된 마이크로스트립 발룬은 400~1,000 MHz 주파수 범위에서 최적의 3단 전력분배기를 이용하는 경우 입력 손실 0.5 dB 이하, 발란스드 단자간의 세기차 ± 0.2 dB, 위상차 180 ± 2.3 도 이하, 소형화된 전력분배기를 이용하는 경우 입력 손실 1.0 dB 이하, 발란스드 단자간의 세기차 ± 0.7 dB, 위상차 180 ± 8.8 도 이하에서 동작함을 확인하였다.

Abstract

A RF microstrip balun having low transmission loss for the balanced receiving dipole antenna is designed and fabricated using a three-section Wilkinson divider and two 3-dB quadrature couplers. It considers two types of the three-section Wilkinson dividers, the Cohn's optimum three-section structure and the miniaturized three-section structure, for wideband power splitting. Also, two 3-dB quadrature couplers for 180 degrees of phase difference adopt a twist-wire coaxial cable. The fabricated first balun having the Cohn's optimum three-section Wilkinson divider has 0.5 dB of transmission loss, ± 0.2 dB of amplitude imbalance, and 180 ± 2.3 degrees of phase imbalance over 400 to 1000 MHz by measurement. The second one using the miniaturized three-section Wilkinson divider shows 1.0 dB of transmission loss, ± 0.7 dB of amplitude imbalance, and 180 ± 8.8 degrees of phase imbalance over the same frequency band.

Key words : Balun, Microstrip Balun, Wideband Balun

I. 서 론

발룬은 트랜스포머의 한 종류로서 한 개의 언발란스드 단자와 두 개의 발란스드 단자에서 신호 전달 및 임피던스 변환의 기능을 수행하게 된다. 발룬은 푸쉬풀 증폭기, 발란스드 믹서, 발란스드 안테나

등에서 주로 이용되는 회로로서, 코어와 이중 권선을 이용한 발룬^[1], Coaxial 라인의 중심 선로와 외곽 표면을 이용한 발룬^[2], DR(Dielectric Resonator)과 마이크로 스트립 기판을 이용한 발룬^[3], 기판 상에서 신호 전달 특성을 이용하여 제작하는 Marchant 발룬^[4] 등 다양한 구조의 발룬이 있다. 발룬은 사용 가능

한국전자통신연구원 전파기술연구그룹(Radio Technology Group, Electronics and Telecommunications Research Institute)

*순천향대학교 정보기술공학부(Division of Information Technology Engineering, SoonChunHyang University)

· 논문 번호 : 20041115-146

· 수정완료일자 : 2005년 2월 1일

한 주파수 범위, 사용 가능한 전력, 전달 손실, 크기 및 동작의 안정성 등 다양한 회로적 요구에 의해 각각의 회로에 알맞게 이용하게 된다. 코어와 이중 권선을 이용한 발룬은 수 옥타브 이상의 대역에서 동작 가능하나, 수 백 MHz 대역 이상의 높은 주파수 대역에서는 2~3 dB 이상의 손실을 발생하며, 수 와트 이내의 낮은 전력 회로에서 주로 이용된다. Coaxial 라인의 중심 선로와 외곽 표면을 이용한 발룬은 수 백 MHz 대역 이상에서 주로 이용하는 발룬으로 적은 주파수 대역에서 사용 가능하지만, 수 백 와트까지의 전력에서도 동작할 수 있어 푸쉬풀 전력 증폭기에서 많이 이용한다. 기판 상에서 신호 전달 특성을 이용하여 제작하는 Marchant 발룬은 수 옥타브 이상의 넓은 대역에서 비교적 높은 전력에서 동작 가능하나, 기본적으로 다른 발룬보다 높은 전력 손실이 발생하여 발란스드 믹서 등에서 주로 이용하게 된다.

본 논문에서 제시한 발룬은 언발란스드 단자와 발란스드 단자의 특성 임피던스를 50 ohm으로, 낮은 전달 손실과 안정된 발룬 특성이 요구되는 수신용 발란스드 안테나에 적용하기 위한 것으로, 주파수 범위 400~1,000 MHz 대역에서 설계 및 제작되었다. 제작된 안테나는 마이크로스트립 선로와 이중 권선 케이블로 구성되므로, 한 옥타브 이상의 높은 주파수 대역에서 마이크로스트립 선로가 견딜 수 있는 전력까지 안정적인 동작이 가능하다.

II. 본 론

2-1 발룬 설계

발룬은 하나의 언발란스드 단자에 대하여, 두 개의 발란스드 단자에서는 동일한 지연 시간에 대하여 동일한 세기와 180도 위상차를 가져야 한다. 본 논문에서는 이러한 발룬 특성을 만족하기 위해 그림 1의 블록 다이어그램과 같은 RF 발룬을 제안하였다. 제안된 RF 발룬은 그림 1과 같이 3단 윌킨슨 전력 분배기와 두 개의 등전력 90도 위상차 전력 분배기로 구성된다. 기본적인 동작을 살펴보면, 3단 윌킨슨 전력 분배기를 이용하여 언발란스드의 단자의 신호를 두 개의 동일한 위상과 세기로 분배하고, 이중 권선 케이블 선로를 이용한 등전력 90도 위상차 전력 분

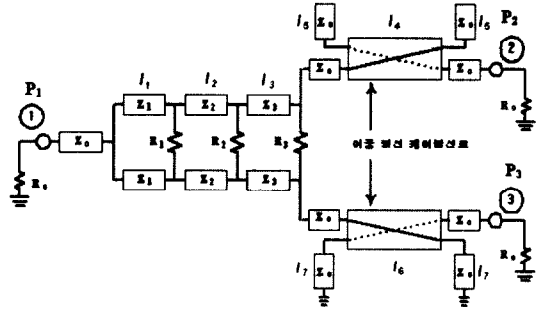


그림 1. 제안된 RF 발룬의 블록 다이어그램
Fig. 1. Block diagram of the suggested RF balun.

배기로 동일한 세기와 180 위상차가 되는 신호를 두 개의 발란스드 단자로 출력하게 된다.

다만 윌킨슨 전력 분배기의 기본적인 이론 및 특성은 많은 논문으로 발표되었으며, 그 중 Cohn에 의해 발표된 논문은 다단 윌킨슨 전력 분배기에 대한 최적의 설계를 가능케 한다^{[5],[6]}. 일반적으로 볼 수 있는 한 단으로 구성된 윌킨슨 전력 분배기를 400~1,000 MHz 대역에서 이용하게 되면, 전송 손실이 약 -0.4 dB, 입력 단자의 정합 특성(S_{11})이 약 -10 dB 정도를 가지게 된다. 하지만, Cohn에 의해 제안된 3단 윌킨슨 전력 분배기를 이용할 경우에는 동일한 주파수 범위에 대하여 전송 손실이 약 -0.04 dB, 입력과 출력 단자의 정합 특성(S_{11} , S_{22} , S_{33})이 -21 dB 이상의 값으로 구현할 수 있다. 본 논문에서는 Cohn의 논문에 따른 최적의 3단 전력 분배기와 함께 회로의 크기를 작게 하기 위하여 소형화된 3단 윌킨슨 전력 분배기를 설계하였다. 소형화된 3단 윌킨슨 전력 분배기는 전체 길이가 중심 주파수에서 $\lambda/4$ 파장으로, Cohn의 윌킨슨 전력 분배기에 비해 신호 전달 손실이 -0.2 dB, 단자들의 정합 특성이 약 -8 dB 나빠지지만, 3단 윌킨슨 전력 분배기의 크기를 1/3로 줄일 수 있다. 이는 한 단으로 된 윌킨슨 전력 분배기와 동일한 크기로 전달 손실 개선량이 약 0.2 dB 개선되며, 단자 정합 특성과 출력 단자간 아이솔레이션 특성을 약 3 dB 정도 개선시킬 수 있다. Cohn에 의해 제시된 값과 소형화된 3단 윌킨슨 전력 분배기의 설계 값과 모의 실험 결과는 표 1과 같다.

이중 권선 케이블 선로로 구현된 3-dB 90도 위상차 전력 분배기의 기본 동작은 90도 위상차 브랜치 라인 커플러와 동일하다^[7]. 그림 2는 3-dB 90도 위상

표 1. 3단 윌킨슨 전력 분배기의 특성

Table 1. The characteristics of three-section Wilkinson power divider.

구성	항목	최적의 전력분배기	소형화된 전력분배기
설계	주파수 범위	400~1,000 MHz	400~1,000 MHz
	$Z_1 / Z_2 / Z_3$ (Normalized imp.)	1.74 / 1.41 / 1.15	1.42 / 1.22 / 1.16
	$R_1 / R_2 / R_3$ (Normalized imp.)	2.14 / 4.23 / 8.00	1.6 / 3.6 / 1.12
	$l_1 / l_2 / l_3$ (Electrical length)	90° / 90° / 90°	30° / 30° / 30°
모의 실험 결과	$S_{11} / S_{22} / S_{33}$ (dB) (Worst value)	-21.1 / -28 / -28	-13 / -23 / -23
	S_{12} / S_{13} (dB) (Worst value)	-3.04 / -3.04	-3.22 / -3.22
	S_{32} or S_{23} (dB) (Worst value)	-23	-13

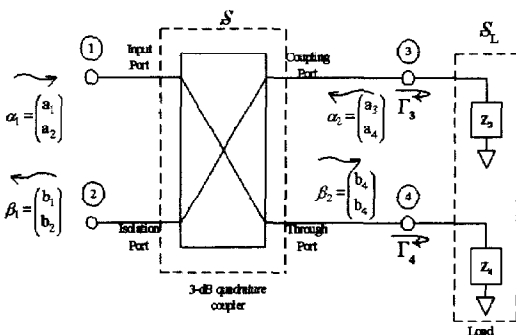


그림 2. 3-dB 90도 위상차 커플러
Fig. 2. 3-dB quadrature coupler.

차 커플러의 커플링 단자와 스루 단자에 동일한 특성의 부하를 연결된 형태의 그림이다. 그림 2의 커플러 입력 단자에 신호가 입력하면, 90도 위상차와 동일한 전력을 가지고 커플링 단자와 스루 단자에 입력 신호가 전달된다. 커플링 단자와 스루 단자에 전달된 신호는 커플링 단자와 스루 단자의 부하에 의해 신호가 반사되어 커플러의 아이솔레이션 단자로 출력하게 된다. 이를 수식적으로 살펴보면 다음과 같다.

그림 2의 단자로 구성된 3-dB 90도 위상차 커플러의 S-파라미터는 4x4 행렬로 표현할 수 있다. 이상적인 3-dB 90도 위상차 커플러의 S-파라미터에서 각 단의 정합 특성($S_{11}, S_{22}, S_{33}, S_{44}$)과 아이솔레이션 단자 간의 전달 특성($S_{12}, S_{21}, S_{34}, S_{43}$) 값은 0, 커플링 단자 간의 전달 특성($S_{13}, S_{31}, S_{24}, S_{42}$) 값은 $1/\sqrt{2}$, 스루 단자 간의 전달 특성($S_{14}, S_{41}, S_{23}, S_{32}$) 값은 $-j/\sqrt{2}$ 를 가지게 된다. 또한, 이상적인 3-dB 90도 위상차 커플러에서는 커플링 계수(C)와 커플링 선로

의 전자적인 길이는 $1/\sqrt{2}$ 와 90°로 정의된다^[8]. 이 값을 이용하여 3-dB 90도 위상차 커플러의 전체 S-파라미터는 식 (1)과 같이 표현된다. 식 (1)의 4x4 행렬을 Port-reduction 방법을 이용하여 그 특성을 살펴보면 다음과 같다. 식 (1)은 식 (2)와 같이 2x2 행렬로 표현이 가능하다. 식 (3)과 (4)는 식 (2)를 전개한 것이다.

$$S = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 & -j \\ 0 & 0 & j & 1 \\ 1 & j & 0 & 0 \\ -j & 1 & 0 & 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \Sigma_{11} & \Sigma_{12} \\ \Sigma_{21} & \Sigma_{22} \end{pmatrix} \quad (1)$$

$$\begin{pmatrix} \beta_1 \\ \beta_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \Sigma_{11} & \Sigma_{12} \\ \Sigma_{21} & \Sigma_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \alpha_1 \\ \alpha_2 \end{pmatrix}$$

$$\Sigma_{11} = \Sigma_{22} = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}, \Sigma_{12} = \Sigma_{21} = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 1 & -j \\ -j & 1 \end{pmatrix} \quad (2)$$

$$\beta_1 = \Sigma_{11}\alpha_1 + \Sigma_{12}\alpha_2 \quad (3)$$

$$\beta_2 = \Sigma_{21}\alpha_1 + \Sigma_{22}\alpha_2 \quad (4)$$

여기서 3-dB 90도 위상차 커플러의 스루 단자와 커플링 단자에 동일한 부하가 연결되는 경우에, 부하의 S-파라미터를 S_L 로 표현하면 $\alpha_2 = S_L \cdot \beta_2$ 의 관계가 성립한다. 식 (4)의 내용을 α_2 항으로 정리하면, 식 (5)가 된다. 이 값을 이용하여, 스루 단자와 커플러 단자에 동일한 부하가 연결된 3-dB 90도 위상차 커플러의 입력과 출력의 관계는 식 (6)과 같이 정리될 수 있다.

$$\alpha_2 = (S_L^{-1} - \Sigma_{22})^{-1} \Sigma_{21}\alpha_1 \quad (5)$$

$$\beta = \left(\Sigma_{11} + \Sigma_{12}(S_L^{-1} - \Sigma_{22})^{-1} \Sigma_{21} \right) \alpha_1 = \Sigma_{12} S_L \Sigma_{21} \alpha_1 = \chi \alpha_1$$

where $\chi = \Sigma_{12} S_L \Sigma_{21}$ (6)

식 (6)의 χ 의 값은 3-dB 90도 위상차 커플러의 스루 단자와 커플러 단자에 개방 선로가 부하로 존재하면 $b_1=0, b_2=-ja_1$ 의 값으로 전개되고, 단락 선로가 부하로 존재하면 $b_1=0, b_2=ja_1$ 의 값으로 전개된다. 즉, 3-dB 90도 위상차 커플러의 스루 단자와 커플러 단자의 부하로 개방 선로가 연결되는 경우와 단락 선로가 연결되는 경우 사이에는 출력 단자에서는 입력 신호의 세기 변화 없이 180도의 위상차가 발생함을 수식적으로 알 수 있다.

수신용 발란스드 안테나와 같이 동일한 전력의 180도 위상차로 존재하는 두 개의 신호를 하나의 언발란스드 단자로 출력하는 형태의 발룬에서는 두 개의 입력하는 신호의 세기차와 위상 오차에 따라 출력하는 단자에서 신호 감쇄가 존재하게 된다. 그림 1의 두 개의 발란스드 입력 단자 2와 3에 $V_2=A_2\cos(\theta_2)$ 과 $V_3=A_3\cos(\theta_3)$ 신호가 입력되면, 언발란스드 출력 단자 1에서는 식 (7)과 같은 신호 세기가 출력하게 된다. 식 (7)을 살펴보면, 180도 위상차와 세기차가 ± 2.13 dB인 두 개의 신호가 발룬의 발란스드 단자로 입력하게 되면, 발룬의 언발란스드 단자에서는 발란스드 단자로 입력된 높은 신호 세기의 3 dB 증가량보다 1 dB 낮은 전력 값을 출력하게 된다. 이는 두 개의 입력 신호가 동일한 신호 세기를 가지나 54도 위상차가 발생하는 경우에도 1 dB 손실을 가짐을 알 수 있다.

$$P_1(\text{dBm}) = 10 \cdot \text{Log} \left(\frac{A_2^2 + A_3^2 + 2A_2A_3\cos(\theta_2 - \theta_3)}{4Z_0} \right) + 30 \quad (7)$$

2-2 제작 및 결과

마이크로스트립 발룬은 타코닉사의 비유전율(ϵ_r)이 3.2인 TLX-9 31 mil 기판을 이용하여 제작하였다. 제작된 마이크로스트립 발룬은 두 종류로서, 하나는 3단 윌킨슨 전력 분배기에 제작에 있어서 최적의 성능을 보장할 수 있는 Cohn의 계산된 값을 적용한 발룬과, 다른 하나는 마이크로스트립 발룬의 크기를 소형화하기 위하여 소형화한 3단 윌킨슨 전력 분배기를 이용하여 제작한 발룬이다. 두 개의 3단 윌킨슨 전력 분배기의 설계치와 모의 실험 결과 특성은 앞서 표 1에서 살펴본 바와 같다. 발룬의 180도 위상차를 위한 3-dB 90도 위상차 커플러는 이중 권선 케

이블 소자인 Sage Laboratories사의 JC wireline을 이용하여 구현하였다. 스루 단자와 커플링 단자의 부하가 단락인 회로의 이중 권선 케이블 선로의 길이는 58 mm, 부하가 개방인 회로의 이중 권선 케이블 선로의 길이는 60.5 mm로 제작되었다. 이중 권선 케이블과 마이크로스트립 기판과의 연결 시에 발생하는 원치 않는 기생 특성에 의해 이중 권선 케이블은 광대역에서 안정적인 커플러의 특성을 보장하기 어렵다. 이러한 기생 특성을 제거하기 위해, 이중 권선 케이블 선로의 부하가 단락일 경우는 이중 권선 케이블을 바로 단락시키지 않고, 3.5 mm 길이의 전송 선로를 이용하여 단락시켰다. 부하가 개방인 경우에는 4 mm 길이의 개방 형태 전송 선로를 이용하여 기생 특성을 제거하였다. 언발란스드 단자로부터 두 개의 발룬스드 단자 사이의 전자적 길이는 이러한 마이크로스트립 기판과 이중 권선 케이블 사이의 기생 특성과 추가적인 전송 선로에 의해 다소 차이가 발생하게 되는 데, 커플러의 부하가 단락인 경로에 추가적인 전송 선로를 삽입하여 해결하였다. 그림 3은 최적의 3단 윌킨슨 전력 분배기를 이용하여 제작

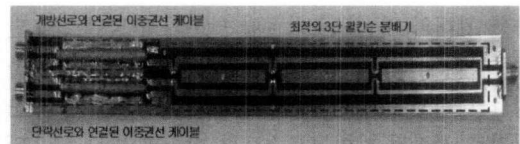


그림 3. 제작된 광대역 마이크로스트립 발룬
Fig. 3. A photograph of fabricated wideband microstrip balun.

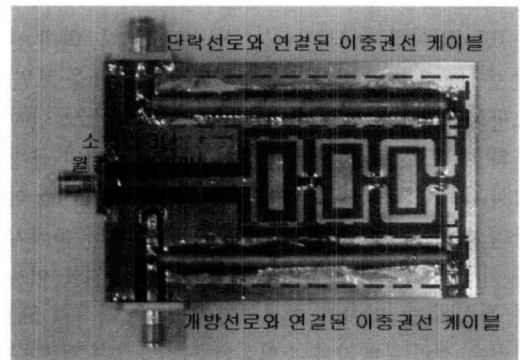


그림 4. 소형화된 광대역 마이크로스트립 발룬
Fig. 4. A photograph of minimized wideband microstrip balun.

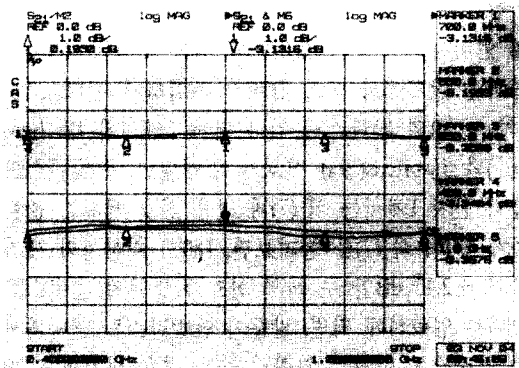
표 2. 광대역 마이크로스트립 발룬의 실험 결과

Table 2. The test results of the wideband microstrip balun.

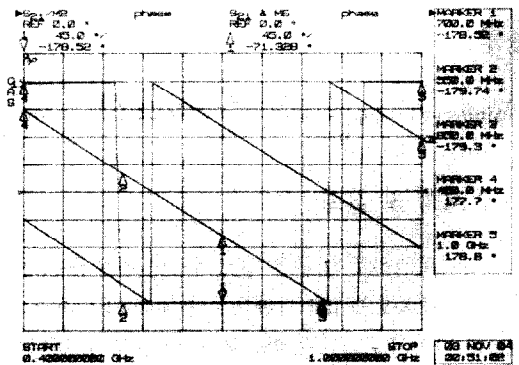
항목	최적의 3단 전력분배기를 이용한 경우	소형화된 3단 전력분배기를 이용한 경우
주파수 범위	400~1,000 MHz	400~1,000 MHz
$S_{11} / S_{22} / S_{33}$ (Worst value)	-14 dB / -11 dB / -14 dB	-11 dB / -13 dB / -10 dB
S_{32} or S_{32} (Worst value)	-25.0 dB	-12.0 dB
S_{12} (Mag)	-3.2~ -3.5 dB	-3.3~ -4.1 dB
S_{13} (Mag)	-3.1~ -3.4 dB	-3.1~ -3.5 dB
$S_{12} - S_{13}$ (Mag)	-0.1~ -0.2 dB	0~ -0.7 dB
$S_{12} - S_{13}$ (Phase)	-178.5° ~ 177.7°	-174.9° ~ 171.3°

된 마이크로스트립 발룬이고, 그림 4는 소형화된 3단 윌킨슨 전력 분배기를 이용하여 제작된 마이크로스트립 발룬이다.

표 2는 최적의 3단 윌킨슨 전력 분배기로 제작된 광대역 마이크로스트립 발룬과 소형화된 3단 윌킨슨 전력 분배기로 제작된 광대역 마이크로스트립 발룬의 대한 실험 결과를 정리한 표이고, 그림 5와 그림 6은 주파수 범위 400~1,000 MHz에서 최적의 3단 윌킨슨 전력 분배기를 이용한 광대역 마이크로스트립 발룬과 소형화된 3단 윌킨슨 전력 분배기를 이용한 광대역 마이크로스트립 발룬의 언발란스드 단자로부터 두 개의 발란스드 단자로의 신호 전달 특성을 나타낸 그림이다. 최적의 3단 윌킨슨 전력 분배기로 제작된 마이크로스트립 발룬의 발란스드 단자간의 세기 차이는 0.2 dB 이하, 위상 차이는 180 ± 2 도 이하, 최대 전달 손실은 0.5 dB 이하로 측정되었고, 소형화된 3단 윌킨슨 전력 분배기로 제작된 마이크로스트립 발룬의 발란스드 단자간의 세기 차이는 0.7 dB 이하, 위상 차이는 180 ± 9 도 이하, 최대 전달 손실은 1.1 dB 이하로 측정되었다. 그림 6을 보면, 소형화된 3단 윌킨슨 전력 분배기의 발란스드 단자간의 세기 및 위상 전달 특성이 400 MHz 대역 근방에서 급속히 나빠짐을 알 수 있는데, 약 450 MHz 이상의 대역에서는 소형화된 3단 윌킨슨 전력 분배기를 이용한 경우와 최적의 3단 윌킨슨 분배기를 이용한 특성에 큰 차이가 발생하지 않았다. 최적의 3단 윌킨슨 전력 분배기와 소형화된 3단 윌킨슨 전력 분배기의 단자 정합 특성(S_{11} , S_{22} , S_{33})은 살펴보면, 전체적으로 최적의 3단 윌킨슨 전력 분배기를 이용하는 경우가 우수함을 알 수 있다. 하지만, 회로 설계



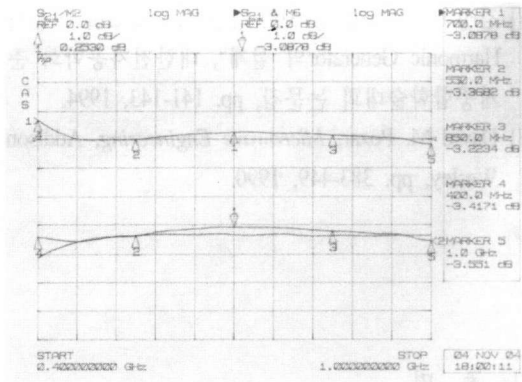
(a) 세기 특성($S_{21} - S_{31}$, S_{21} , S_{31})
(a) Magnitude characteristics



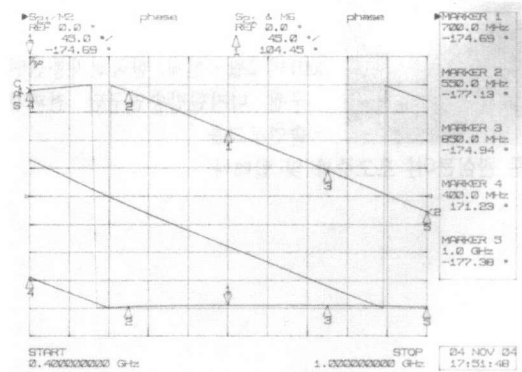
(b) 위상 특성($S_{21} - S_{31}$, S_{21} , S_{31})
(b) Phase characteristics

그림 5. 광대역 마이크로스트립 발룬 특성
Fig. 5. The test result of wideband microstrip balun.

는 전체적인 특성을 고려하여 설계되므로, 표 2의 S_{22} 정합 특성 특성처럼 일정 주파수 대역에서 소형화된 3단 윌킨슨 전력분배기를 이용한 것이 우수한



(a) 세기 특성($S_{21} - S_{31}, S_{22}, S_{32}$)
(a) Magnitude characteristics



(b) 위상 특성($S_{21} - S_{31}, S_{22}, S_{32}$)
(b) Phase characteristics

그림 6. 소형화된 광대역 마이크로스트립 발룬 특성
Fig. 6. The test result of minimized wideband microstrip balun.

특성을 가지기도 한다.

III. 결 론

3단 윌킨슨 전력분배기와 이중 권선 케이블 선로를 이용하여 주파수 범위 400~1,000 MHz에서 사용 가능한 마이크로스트립 발룬을 두 가지 형태로 제작하였다. 하나는 Cohn의 논문에 의한 최적의 3단 윌킨슨 전력분배기로 구현하였으며, 다른 하나는 소형화된 3단 윌킨슨 전력분배기를 이용하여 구현하였다. 최적화된 3단 윌킨슨 전력분배기를 이용하여 제작된 광대역 마이크로스트립 발룬은 전달 손실 약 0.5 dB 이하이고, 발란스드 단자간의 세기차 0.2 dB

이하, 위상차 180 ± 2 도 이하로 측정되었으며, 소형화된 3단 윌킨슨 전력분배기로 제작된 마이크로스트립 발룬은 전달 손실 1.1 dB 이하, 발란스드 단자간의 세기 차이 0.7 dB 이하, 위상 차이 180 ± 9 도 이하로 측정되었다. 하지만, 450~1,000 MHz 대역에서는 소형화된 3단 윌킨슨 전력분배기를 이용한 발룬과 최적의 3단 윌킨슨 전력분배기를 이용한 경우의 특성차가 거의 없었다. 한 옥타브 정도의 대역폭이나 발란스드 단자간의 특성이 엄격하지 않은 경우에는 소형화된 3단 윌킨슨 전력 분배기를 이용한 광대역 마이크로스트립 발룬 적용이 가능하다.

본 논문에서 제안된 광대역 마이크로스트립 발룬은 마이크로스트립 기판 상에서 이중 권선 케이블 선로를 이용하여 구현할 수 있는 것으로 쉽게 제작 가능하다. 또한, 한 옥타브 이상의 주파수 대역에 대해 낮은 전달 손실 및 안정적인 발룬 특성을 제공 가능하므로, 수신용 발란스드 안테나에서 낮은 수신 신호의 입력에 대하여 사용 가능하다. 소형 3단 윌킨슨 전력분배기를 이용한 발룬은 푸쉬풀 전력 증폭기와 같은 고풍력 회로에 있어서 소형의 발룬 회로를 필요로 하는 경우에, 3단 윌킨슨 전력분배기와 이중 권선 케이블 선로가 견딜 수 있는 전력까지 안정적으로 발룬 동작을 제공하므로 적용 가능하리라 생각한다.

참 고 문 헌

- [1] Jerry Sevick, *Transmission Line Trans-Formers*, ARRL, 1990.
- [2] 박원석, 박용희, 허준원, "Coaxial line을 이용한 초고주파 RF 상쇄 회로", 대한전자공학회 춘계 종합 학술대회 논문집, pp. 117-120, 1998.
- [3] 강충구, "마이크로스트립 라인 Balun을 이용한 Up-Converting 믹서", 서강대학교 석사학위논문, pp. 25-33, 1997.
- [4] 김선숙, 이종환, 염경환, "새로운 발룬 회로를 이용한 2 GHz 대역 이중 평형 Star 혼합기의 설계 및 제작", 한국전자과학회논문지, 15(1), pp. 44-50, 2004.
- [5] Seymour B. Cohn, "A class of broadband three-port TEM-mode hybrids", *IEEE Transactions on Micro-*

wave Theory and Techniques, vol. MTT-16, no. 2, pp. 110-116, Feb. 1968.

[6] Leo Young, "Tables for cascaded homo-geneous quarter-wave transformers", *IRE Trans. Microwave Theory and Techniques*, vol. MTT-7, pp. 233-238, Apr. 1959.

[7] 김성욱, 강인호, 정옥현, 정용채, "Tuner를 이용한 Harmonic-Generator의 설계", 대한전자공학회 춘계종합학술대회 논문집, pp. 141-143, 1994.

[8] David M. Pozar, *Microwave Engineering*, Addison Wesley, pp. 383-449, 1990.

박 용 희



1994년: 서강대학교 전자공학과 (공학사)
 1996년: 서강대학교 전자공학과 (공학석사)
 2000년: 서강대학교 전자공학과 (공학박사)
 2004년~현재: 한국전자통신연구원

선임연구원
 [주 관심분야] 초고주파 회로 설계

김 종 면



2004년 2월: 한밭대학교 전자공학과 (공학사)
 2004년 8월~현재: 충북대학교 정보통신공학과 석사과정
 2001년 2월~현재: 한국전자통신연구원 디지털방송연구단 전파기술연구그룹

[주 관심분야] 초고주파 및 안테나

임 종 직



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 박사후연구원
 2003년 7월~2004년 9월: 특허청 특허심사관
 2004년 9월~2005년 2월: 한국전자통신연구원 선임연구원
 2005년 3월~현재: 순천향대학교 정보기술공학부 교수
 [주 관심분야] 초고주파 능동/수동회로 설계, 주기구조의 모델링 및 회로 응용, 안테나 측정 시스템 등