

평면형 구조에 적합한 3-way 전력 분배기 설계

Design of New Planar 3-way Power Divider

김현태 · 김귀수 · 류대원* · 임종식 · 안 달

Hyun-Tai Kim · Kwi-Soo Kim · Dae-Woun Yoo* · Jong-Sik Lim · Dal Ahn

요 약

본 논문에서는 출력단 전력의 위상과 크기가 모두 대칭인 새로운 구조의 3-way 전력 분배기를 제안한다. 종래의 일반적인 Wilkinson 전력 분배기의 경우, 3-way 이상의 전력 분배시 격리 특성을 결정하는 저항 소자의 crossover로 인하여 평면형 구조로의 구현이 어려웠다. 반면, 본 논문에서 제안하는 회로는 평면형이면서 격리 저항을 쉽게 장착할 수 있는 장점을 가지고 있다. 그리고 대칭 구조이면서 선로 간 전기적 길이가 동일하므로 출력단 위상차를 위한 별도의 보상 선로가 불필요하다. 제작된 2.4 GHz 대 3-way 전력 분배기는 종래의 구조에 비하여 160 % 만큼 개선된 S_{11} 대역폭, 최하 22.4 dB의 격리 특성, 그리고 출력 단자간 동일한 위상 특성을 보인다.

Abstract

This paper presents an equal 3-way planar-type power divider. In conventional 3-way Wilkinson dividers, it has been difficult to realize the circuit because of the crossover of isolation resistors. In the proposed divider, the isolation resistors can be easily attached to the planar structure of the divider. In addition, no phase difference is observed at output ports without extra line compensation because of its symmetric structure. The fabricated 3-way divider has a greatly improved bandwidth by 160 % in S_{11} , 22.4 dB, min of isolation, and in phase characteristics between output ports at 2.4 GHz of center frequency from measurement.

Key words : 3-Way Power Divider, Planar Structure, Symmetric Structure, Crossover, Isolation

I. 서 론

최근 정보 통신과 이동 통신 분야의 급격한 발전에 따라 그에 따른 통신 기기의 수요 또한 급증하고 있는 추세이다. 이러한 이동 통신에 사용되는 통신 기기의 무선 송수신 시스템을 구성하는 RF 부품으로는 안테나, 전력 증폭기, 방향성 결합기, 전력 분배기 / 합성기 등이 있다. 특히, 전력 분배기 / 합성기는 송신 안테나 시스템 또는 수신 안테나 시스템을 위한 전력 공급기의 설계 등에 응용되고 있다. Wilkinson 전력 분배기는 입력 전력을 둘 혹은 그 이상의 출력 단자로 각각 정해진 전력 분배비에 따라 나

누는 역할을 한다. 이와 같은 Wilkinson 전력 분배기는 모든 단자에서 정합되어 있으며 임의의 개수의 출력 단자 간 격리 특성을 가지고 있어 출력단자 간 상호 간섭이 매우 작은 장점이 있다^{[1]~[6]}.

이러한 특성의 3-way Wilkinson 전력 분배기를 평면형 구조에 적합하게 설계하기 위해서는 입력 신호에 대하여 첫 번째 단을 2:1의 전력으로 분배하고 다시 1:1 분배기를 사용하여 3-way 전력 분배기를 설계하여야 한다. 그러나 이와 같은 구조를 이용하여 고전력의 전력 분배기를 구현할 경우, 고전력이 바로 인가되는 첫 번째 분배기의 전력 분배가 비대칭이 되어 한 쪽으로 전력이 몰리게 된다. 이와 같은 경우,

「이 논문은 교육인적자원부, 산업자원부, 노동부의 출연금 및 보조금으로 수행한 최우수실험실지원사업의 연구 결과입니다. 순천향대학교 전기통신시스템공학과(Department of Electrical and Communication System Engineering, Soonchunhyang University)

* (주)미네르바(Minerva Korea Corporation)

· 논문 번호 : 20060808-091

· 수정완료일자 : 2006년 12월 13일

저 전력의 신호 흐름에는 상관없이 고 전력이 통과 시 선로의 손실 특성에 따라 한 쪽 선로의 손실을 증가시켜 회로 특성을 저하시키는 문제가 있다. 본 논문에서는 3-way 전력 분배시의 경우에 출력단에 전력의 대칭이 유지되도록 설계된 회로를 제안하고자 한다. 이 회로는 평면형 구조인 동시에, 격리 특성을 결정하는 저항 소자도 평면형 구조에 쉽게 삽입할 수 있는 장점이 있다.

II. 설계 이론

2-1 Wilkinson 전력 분배기 이론⁷⁾

그림 1은 마이크로스트립을 이용한 전력 분배기 회로를 나타낸다.

그림 1에서 포트 2와 포트 3의 전력비가

$$K^2 = P_2 / P_3 \quad (1)$$

일 경우, 다음과 같은 식 (2)~(4)를 적용할 수 있다.

$$Z_{02} = Z_0 \sqrt{\frac{1+K^2}{K^3}} \quad (2)$$

$$Z_{03} = K^2 Z_{02} = Z_0 \sqrt{K(1+K^2)} \quad (3)$$

$$R = Z_0 \left(K + \frac{1}{K} \right) \quad (4)$$

2-2 새로운 구조의 3-way 전력 분배기의 설계

그림 2는 본 논문에서 제안하는 3-way 전력 분배기를 나타낸 그림이다. 각 단자에서의 선로 임피던

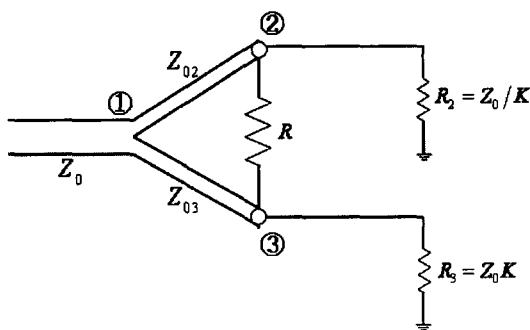


그림 1. 마이크로스트립을 이용한 Wilkinson 전력 분배기

Fig. 1. Wilkinson power divider using a microstrip.

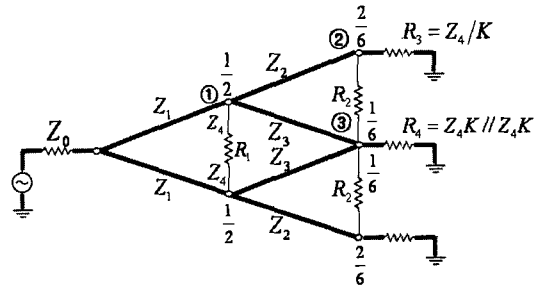


그림 2. 새로운 구조의 3-way 전력 분배기

Fig. 2. Proposed 3-way power divider.

표 1. 제안한 3-way 전력 분배기의 전송 선로 임피던스
Table 1. Transmission line impedance of the proposed 3-way power divider.

| | Z_1 | Z_2 | Z_3 |
|---------|---------|---------|---------|
| 선로 임피던스 | 84.04 Ω | 72.81 Ω | 145.6 Ω |

스와 저항 소자 값을 구하기 위하여 식 (1)~(3)을 이용하였다. 그림 2에서 노드 ②, ③ 사이의 전력 분배비 K 는 식 (1)에 의해 결정된다. 또한, 회로가 50 Ω으로 정합되었다고 가정하였을 때, R_3 의 임피던스는 50 Ω이 된다. 따라서 노드 ①에서의 임피던스 값 Z_4 는 식 (6)으로부터 구할 수 있다. 위에서 제시한 설계 방법을 각 전송 선로에 동일하게 적용하면 회로를 구성하는 모든 전송 선로의 임피던스를 얻을 수 있다. 표 1은 제시된 설계 방법에 따라 구해진 새로운 구조의 3-way 전력 분배기의 각 전송 선로 임피던스를 나타낸다.

다음으로 각 포트간의 저항 소자 값을 구하기 위하여 식 (4)를 이용하면 각 단의 격리를 위한 저항 소자 값들인 R_1 , R_2 의 값을 구할 수 있다. 제시된 설계 방법에 의하여 구해진 새로운 구조의 3-way 전력 분배기의 각 단자 간 저항 소자 값을 표 2에 나타내었다.

표 2. 제안한 3-way 전력 분배기의 저항 소자 값
Table 2. Resistor values of the proposed 3-way power divider.

| | R_1 | R_2 |
|---------|---------|-------|
| 저항 소자 값 | 141.1 Ω | 150 Ω |

III. 시뮬레이션 및 제작

3-1 새로운 구조의 3-way 전력 분배기 시뮬레이션

그림 3은 위의 표 1, 2에 나타난 각각의 전송 선로 임피던스와 저항 소자들로 구성된 회로이다.

제시한 설계 방법의 타당성을 보이기 위하여 2.4 GHz 대역 3-way 전력 분배기를 설계하여 시뮬레이션하였다. 시뮬레이션 Tool은 Ansoft사의 Designer V2를 사용하였다. 그림 4는 회로 시뮬레이션 결과이다. 회로 시뮬레이션 결과는 제안한 새로운 구조의 3-way 전력 분배기의 정합 특성과 단자 간 격리 특성, 위상 특성이 매우 우수함을 보여 주고 있다. 그림 5는 정합 특성을 나타내는 S_{11} 특성을 기존 구조와 비교하여 나타낸 그림이다.

일반적으로 다단이 아닌 단일 Wilkinson 전력 분배기가 가지는 단점 중 하나는 좁은 대역폭을 가지는 것이다. 반면, 본 논문에서 제안하는 3-way 전력 분배기의 경우, 기존의 구조에 비하여 -20 dB를 기준으로 한 S_{11} 의 대역폭이 더욱 넓은 것을 볼 수 있다.

그림 6은 실제 제작에 앞서 EM 시뮬레이션을 통하여 제안한 구조의 전자기적 특성을 알아본 그림이다. 시뮬레이션에 사용된 기판은 비유전율 $\epsilon_r=2.5$ 에 두께는 62 mil의 기판을 사용하였고, 중심 주파수는 2.4 GHz 대역에서 설계하였다. 시뮬레이션 tool

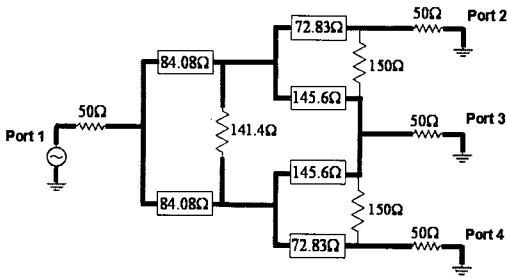
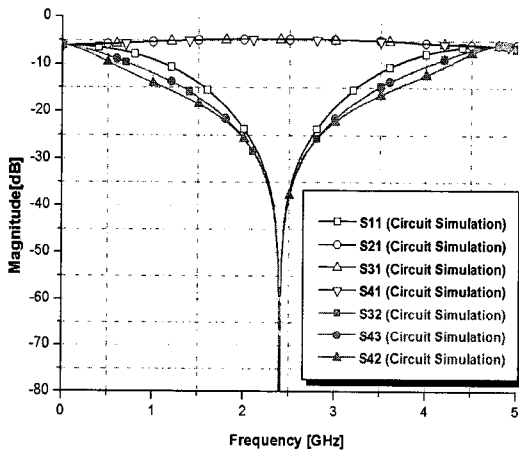
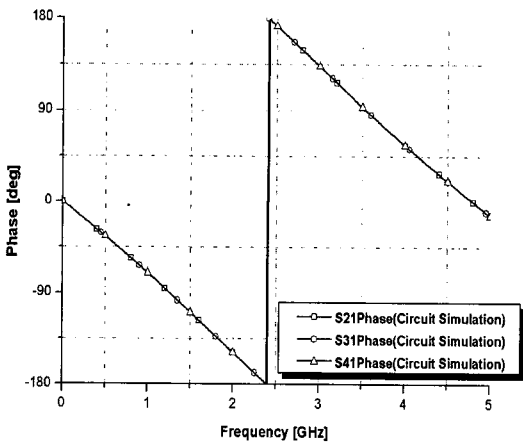


그림 3. 제안한 3-way 전력 분배기 구조
Fig. 3. Structure of the proposed 3-way power divider.



(a) 전력 분배와 정합 특성
(a) Matching, power division, isolation



(b) 위상 특성
(b) Phase characteristics

그림 4. 설계된 3-way 전력 분배기의 회로 시뮬레이션 결과
Fig. 4. Circuit simulation results of the proposed 3-way power divider.

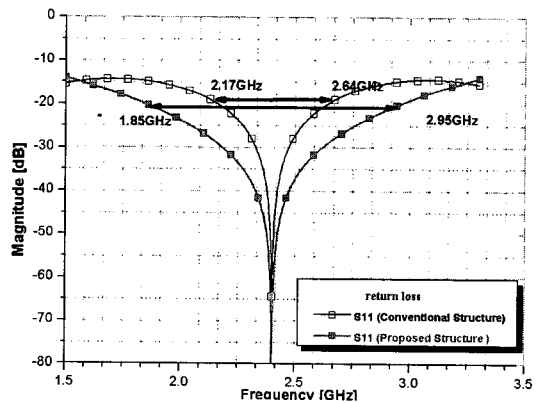
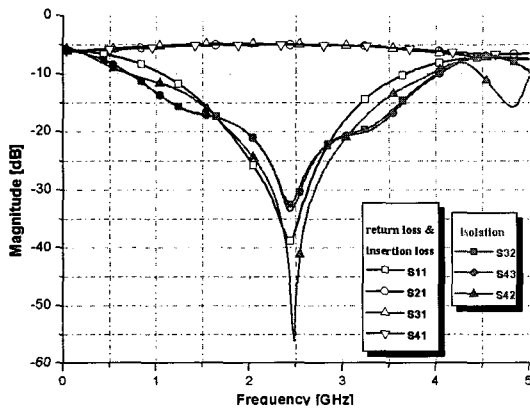


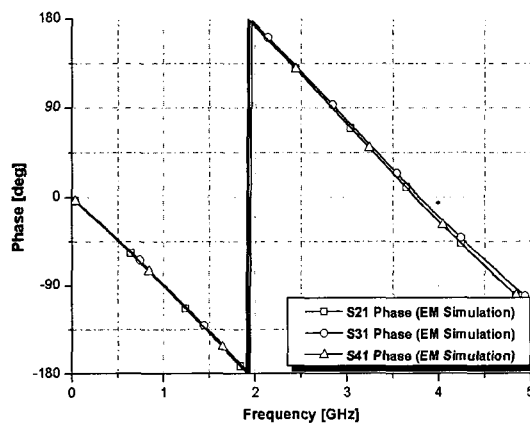
그림 5. 기존의 3-way 전력 분배기와의 S_{11} 대역폭 비교
Fig. 5. Comparison of S_{11} bandwidth to the conventional 3-way power divider.

은 Ansoft사의 HFSS V10을 사용하였다.

그림 6(a)는 정합 특성과 전력 분배 특성, 격리 특성을 나타내는 EM 시뮬레이션 결과이고, 그림 6(b)는 위상 특성에 대한 EM 시뮬레이션 결과이다. 시뮬레이션 결과를 살펴보면 중심 주파수 2.4 GHz에서 각 포트에 전달되는 전력이 1/3로 균일하며 -38.2 dB의 정합 특성과 -32.1 dB 이하의 격리 특성을 보였다. 또한, 각 출력 단에서의 전력이 동 위상 특성을 보였으며, -20 dB를 기준으로 한 S_{11} 의 대역폭은 1.78 GHz에서 2.92 GHz까지 약 1.14 GHz의 넓은 대역폭 특성을 보였다.



(a) 정합, 전력 분배, 격리 특성
(a) Matching, power division, and isolation



(b) 위상 특성
(b) Phase characteristics

그림 6. 설계된 3-way 전력 분배기의 EM 시뮬레이션 결과

Fig. 6. EM simulation results of the proposed 3-way power divider.

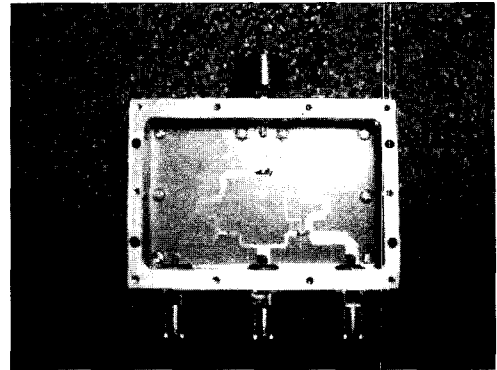


그림 7. 제작된 3-way 전력 분배기
Fig. 7. Fabricated 3-way power divider.

3-2 새로운 구조의 3-way 전력 분배기 제작 및 측정 결과

그림 7은 제안한 설계 방법에 의하여 실제 제작된 새로운 구조의 3-way 전력 분배기이다.

그림 8은 본 논문에서 제안하는 새로운 구조의 3-way 전력 분배기의 측정 결과이다. 측정 결과 중심 주파수 2.4 GHz에서 전력의 균등 분배가 이뤄지고 있으며 -22.4 dB 이하의 격리 특성과 각 출력 단에서 동 위상의 특성을 보였다. 특히, -20 dB를 기준으로 한 S_{11} 의 대역폭은 1.64 GHz에서 2.86 GHz까지 약 1.22 GHz의 대역폭을 가짐으로써, 회로 시뮬레이션에서 보인 일반적인 3-way 전력 분배기의 S_{11} 대역폭에 비하여 약 160 % 개선된 대역폭 특성을 나타내었다.

IV. 결 론

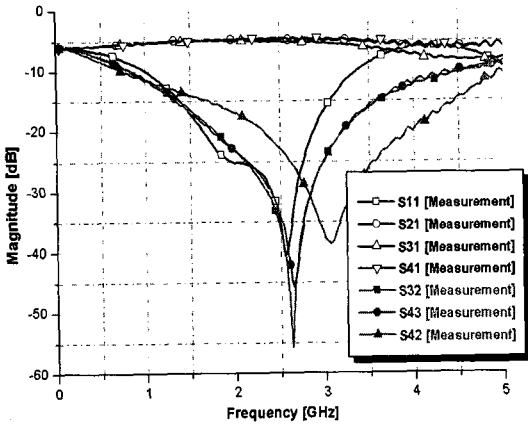
본 논문에서는 새로운 구조의 3-way 전력 분배기를 제안하였다. 제안한 설계 방법에 의해 설계된 3-way 전력 분배기는 우수한 정합 특성과 격리 특성, 위상 특성을 가진다는 것을 시뮬레이션을 통해 확인하였으며, 실제 제작하여 제시한 설계 방법의 타당성과 유용성을 보였다. 또한, 기존의 전력 분배기가 가지는 문제점들을 개선해 줄 수 있는 장점을 보였다. 제시한 설계 방법을 이용한 전력 분배기의 특징을 요약하면 다음과 같다.

- 1) 3-way 전력 분배시에도 저항 소자를 crossover

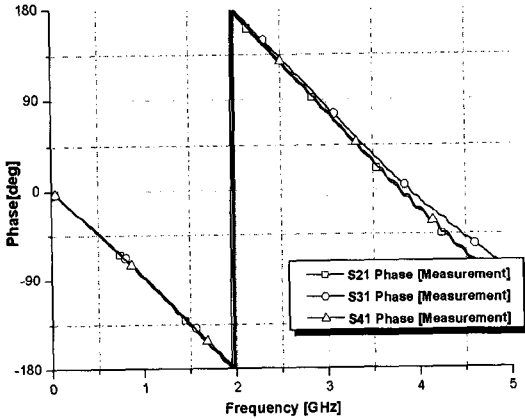
로써 추가적인 매칭 선로 없이 출력 단에서 위상차가 생기지 않는다. 이러한 우수한 특성을 가진 새로운 구조의 3-way 전력 분배기는 매우 응용가치가 높으며 초고주파 회로에서의 많은 활용이 기대된다.

참고 문헌

- [1] E. J. Wilkinson, "An n-way hybrid power divider", *IRE Trans. on Microwave Theory and Techniques*, vol. MTT-8, pp. 116-118, Jan. 1960.
- [2] A. A. M. Saleh, "Planar electrically symmetric-way hybrid power dividers/combiners", *IEEE Trans. on Microwave Theory and Techniques*, vol. MTT-28, no. 6, pp. 555-563, Jun. 1980.
- [3] S. B. Cohn, "A class of broadband three-port TEM-mode hybrids", *IEEE Trans. on Microwave Theory and Techniques*, vol. MTT-16, no. 2, pp. 110-116, Feb. 1968.
- [4] L. I. Parad, R. L. Moynihan, "Split-tee power divider", *IEEE Trans. on Microwave Theory and Techniques*, vol. MTT-8, pp. 116-118, Jan. 1965.
- [5] R. B. Ekinge, "A new method of synthesizing matched broad-band TEM-mode three-ports", *IEEE Trans. on Microwave Theory and Techniques*, vol. MTT-19, pp. 81-88, Jan. 1971.
- [6] S. Rosloniec, "Three-port hybrid power dividers terminated in complex frequency-dependent impedances", *IEEE Trans. on Microwave Theory and Techniques*, vol. MTT-44, no. 8, pp. 1490-1493, Aug. 1996.
- [7] D. M. Pozar, *Microwave Engineering*, Wesley Publishing Company, pp. 363-368, 1993.



(a) 정합, 전력 분배, 격리 특성
(a) Matching, power division, and isolation



(b) 위상 특성
(b) Phase characteristics

그림 8. 측정된 3-way 전력 분배기 특성
Fig. 8. Measured results of the 3-way power divider.

없이 쉽게 삽입할 수 있어 평면형 구조로의 구현이 용이하다. 2) 기존의 구조에 비하여 약 160 % 개선된 S_{11} 대역폭을 가짐으로써 보다 향상된 성능을 가진다. 3) 대칭 구조와 동일한 전기적 길이를 유지함으

김 현 태



2005년 8월: 순천향대학교 정보기술공학부 (공학사)
2005년 8월~현재: 순천향대학교 전기통신시스템공학과 석사과정
[주 관심분야] RF, 초고주파 수동/능동 소자 설계

김 귀 수



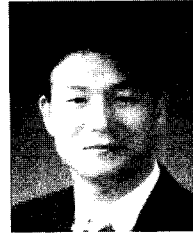
2004년 2월: 순천향대학교 정보기술공학부 (공학사)
2005년 2월: 순천향대학교 정보기술공학부 (공학석사)
2005년 2월~현재: 순천향대학교 전기통신시스템공학과 박사과정
[주 관심분야] RF, 마이크로파 수동/능동 소자 설계

류 대 원



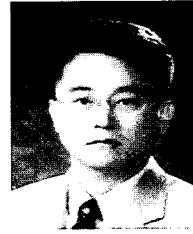
1997년 2월: 순천향대학교 전자공학과 (공학사)
1999년 2월: 순천향대학교 전자공학과 (공학석사)
1999년 2월~2006년 8월: 필코전자 선임연구원
1999년 3월~2006년 2월: 경기대학교 첨단산업공학부 신소재공학과 박사과정
2006년 8월~현재: Minerva Korea Corporation
[주 관심분야] RF, 마이크로파 수동소자 설계, LTCC, 디지털/아날로그 RFIC 시스템

임 중 식



1991년 2월: 서강대학교 전자공학과 (공학사)
1993년 2월: 서강대학교 전자공학과 (공학석사)
2003년 2월: 서울대학교 전기컴퓨터공학부 (공학박사)
1993년 2월~1999년 3월: 한국전자통신연구원 위성통신기술연구단, 무선방송기술연구소 선임연구원
2003년 3월~2003년 7월: 서울대학교 BK21 정보기술사업단 박사후 연구원
2003년 7월~2004년 9월: 특허청 특허심사관
2004년 9월~2005년 2월: 한국전자통신연구원 디지털방송통신구단 전파기술연구그룹 선임연구원
2005년 3월~현재: 순천향대학교 전기통신시스템공학과 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: 한국전자통신연구원 선임연구원
1992년 3월~현재: 순천향대학교 전기통신시스템공학과 교수
[주 관심분야] RF, 마이크로파 수동소자 해석 및 설계 등