

원형 부채꼴 모양의 2 GHz 대역 전력 분배기-결합기

Circular Sector-Shaped 2 GHz Band Power Divider-Combiner

김 영

금오공과대학교 전자공학부

Young Kim

School of Electronic Engineering, Kumoh National Institute of Technology, Gyeongsangbuk-do, 39177, Korea

[요 약]

본 논문은 평면형 구조를 갖는 원형 부채꼴 모양의 전력 분배기-결합기 설계에 대한 것이다. 이 구조는 직렬형으로 구성할 수 있으며 원형 부채꼴 모양으로 인하여 간단한 회로 구성과 출력의 크기와 위상 발란스 특성을 개선할 수 있으며, 이것은 단순한 입력 정합회로를 갖고 있으며 출력 포트 사이에 RC 병렬 회로를 삽입하여 출력의 반사계수와 고립도를 개선하였다. 설계된 분배기와 결합기는 구조적으로 부채꼴 모양의 대칭적으로 설계되었기 때문에 출력 포트를 2개 또는 4개로 구성하였을 때 출력 사이의 크기 발란스 ± 0.1 dB 와 위상 발란스 $\pm 1\text{o}$ 를 갖는 우수한 특성을 갖고 있다. 이러한 전기적 특성을 확인하기 위해서 동작주파수 2 GHz에서 제작된 평면형 전력 분배기-결합기는 시뮬레이션과 특성이 잘 일치함을 확인하였다.

[Abstract]

This paper proposes the design of circular sector shaped power divider-combiner with a planar structure. This structure can be constructed in series, and due to the circular sector shape, it is possible to simplify circuit configuration and improve the amplitude and phase balanced characteristics of the output. It has a simple input matching circuit and an RC parallel circuit was inserted between the output ports to improve the reflection coefficient and isolation of the output. Since the designed divider-combiner are structurally designed in a symmetrical shape of a sector, even if the output ports are composed of two or four output ports, they have excellent characteristics with an amplitude balance of ± 0.1 dB and a phase balance of $\pm 1\text{o}$ between outputs. To prove these characteristics, it was confirmed that the characteristics of the planar power divider-combiner fabricated at an operating frequency of 2 GHz are in good agreement with the simulation.

Key word : Matching circuit, Planar structure, Power divider-combiner, RC parallel circuit, Sector-shaped.

<https://doi.org/10.12673/jant.2020.24.4.299>



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Received 9 July 2020; Revised 23 July 2020

Accepted (Publication) 17 August 2020 (30 August 2020)

Corresponding Author; Young Kim

Tel: +82-54-478-7506

E-mail: youngk@kumoh.ac.kr

I. 서 론

현대 통신 시스템은 작은 전력을 이용하여 특정한 위치로 전력을 전달할 수 있는 빔 포밍 방법을 이용하여 서비스를 제공하고 있다. 이러한 방법은 대용량의 전력을 전방위로 방사하여 전력을 전달하는 것 보다 효율적으로 단말기에 전달할 수 있는 기술이다. 이러한 기술을 이용하여 전력을 전달하려면 많은 안테나 소자에 전력이 전달될 수 있도록 하나의 입력포트에서 출력포트가 많은 분배기-결합기가 필요하게 된다. 이러한 대용량의 분배기-결합기는 두 가지 형태로 개발되어 왔다. 먼저, 입력 포트가 중앙에 존재하고 레디알 방향으로 출력 포트가 존재하는 레디알 형태 [1]-[3]와 윌킨슨 분배기를 연속적으로 연결한 직렬 형태 [4],[5]가 존재한다. 레디알 형태의 분배기는 입력이 중앙에 존재하여 정합을 시켜야하기 때문에 평면형 구조로 만들기 어려운 형상을 갖고 있으며, 출력 포트 사이의 크기와 위상 불균형은 좋지만 출력 포트사이의 고립도가 좋지 않은 특성을 갖고 있다. 또한, 직렬 형태의 분배기는 고립도 특성은 좋지만 크기가 커지고 그것으로 인하여 출력의 손실이 증가한다.

본 논문에서는 대용량의 분배기-결합기를 평면형으로 만들면서 출력사이의 크기와 위상 불균형 특성이 우수하고 구성이 간단한 구조로 원형 부채꼴 형태의 구조[6]-[8]를 선택하여 분배기-결합기를 설계하였다. 이 구조의 분배기-결합기는 특정 주파수에서 정합시킬 수 있는 간단한 입력 정합회로와 출력 포트 사이의 고립도와 정합 특성을 만족하기 위해 병렬 RC 회로 [9],[10]를 삽입하였다. 이러한 원형 부채꼴 형태의 분배기-결합기는 출력 포트가 2개와 3개를 갖고 있는 구조의 입출력 포트 사이의 손실과 포트사이의 고립도 그리고 크기 및 위상 불균형 특성이 시뮬레이션 결과와 유사함을 확인하였다. 또한, 출력 포트가 2개짜리 분배기-결합기를 직렬로 연결하여 출력 포트가 4개로 만들어 전기적 특성을 확인하였다.

II. 원형 부채꼴 형태 전력 분배기-결합기

2-1 전력 분배기-결합기 구성도

그림 1은 출력 포트가 n 개인 원형 부채꼴 모양의 분배기-결합기 구조를 나타낸 것으로 출력 포트는 부채꼴의 형태에서 대칭적으로 배열된 구조이다. 출력 포트 사이의 병렬 RC 회로는 출력의 정합과 고립도 특성을 개선하기 위해서 설계되었다.

먼저 그림 2(a)의 원형 부채꼴 모양의 전기적 특성은 수치 해석 방법으로 부채꼴 모양의 임피던스 파라미터를 구하고 이것을 어드미턴스 변환 후에 다시 S 파라미터로 변환하여 특성을 얻었다 [4].

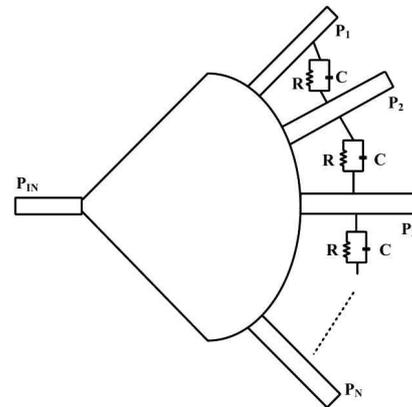


그림 1. 원형 부채꼴 전력 분배기-결합기 구성도
 Fig. 1. Block-diagram of circular shaped power divider-combiner.

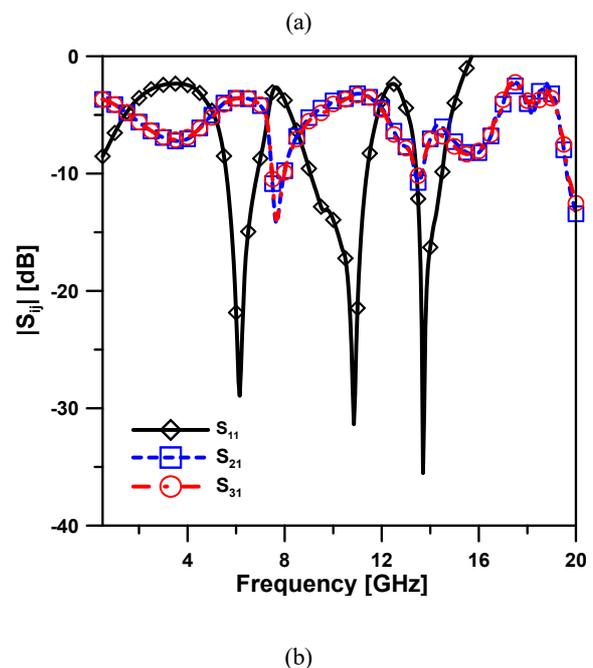
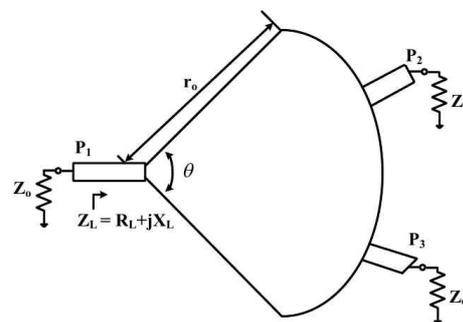


그림 2. 출력이 2개인 원형 부채꼴 전력 분배기-결합기의 (a) 등가회로 (b) 전기적 특성
 Fig. 2. Circular shaped power divider-combiner with two output ports (a) equivalent circuit (b) ports characteristics.

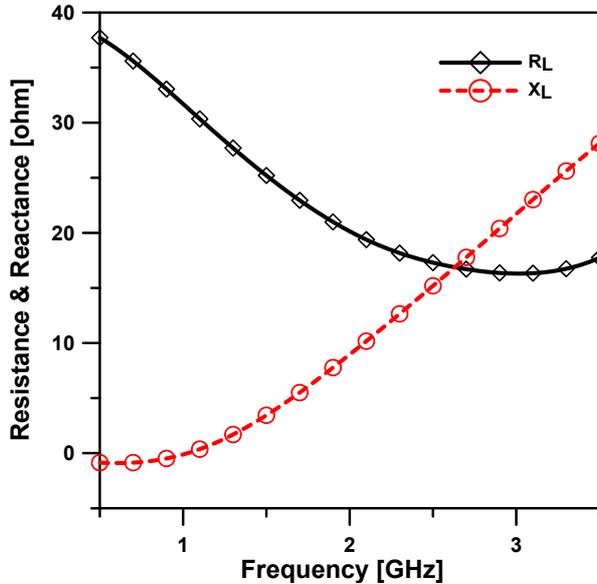


그림 3. 2개의 출력 포트를 갖은 원형 부채꼴 전력 분배기-결합기의 부하 임피던스의 저항과 리액턴스 값

Fig. 3. Resistance and reactance values of load impedance for circular shaped power divider-combiner with 2 output ports.

본 논문에서는 그림 2(a)와 같은 조건을 만들어 두고, Microwave Office 소프트웨어를 이용하여 P_1 에서 입력 반사계수 S_{11} 을 구하여 이것으로부터 수학적 연산을 통하여 부하 임피던스를 구하였다. 이때 그림 2(a)의 전력 분배기-결합기에 사용된 PCB는 FR-4로 유전율 4.4, 유전체 두께 1.574 mm 그리고 도체 두께는 0.035 mm이다. 또한, 전력 분배기-결합기 반지름은 15 mm, 각도는 90° 인 원형 부채꼴 형태로 구성하였다. 이러한 조건으로 시뮬레이션을 수행하였을 때 주파수 0.5 GHz에서 20 GHz까지의 반사계수와 전달 특성을 그림 2(b)에 나타내었다. 그래프에서 6.15 GHz, 10.85 GHz에서 반사계수 $|S_{11}| < -25$ dB, 삽입손실은 $|S_{21}| = |S_{31}| = -3.5$ dB를 갖는 분배기의 특성이 나오는 것을 확인할 수 있다.

그림 2(b)의 그래프에서 중심주파수 2 GHz에서 동작하는 전력 분배기-결합기를 설계하기 위하여 0.5 GHz에서 3.5 GHz의 반사계수 데이터를 이용하여 그림 2(a)에 표시된 부하 임피던스 Z_L 의 저항 (R_L)과 리액턴스 (X_L) 값을 계산하여 주파수 변화에 따른 부하 임피던스 소자값 변화 특성을 그림 3에 나타내었다.

그림 3에서 구한 데이터 중에서 동작주파수 2 GHz일 때의 부하 값, 저항 값 $R_L = 20.1 \Omega$ 그리고 리액턴스 값 $X_L = 8.9 \Omega$ 을 갖는 부하에 입력 포트를 정합시키기 위해서 직렬 전송선로와 병렬 오픈 스테르브로 구현된 회로를 구성하였다. 또한, 50 Ω 의 전송선로로 구성된 출력 포트들 사이의 병렬 RC 회로의 소자 값들은 식 (1),(2)를 이용하여 구하였다 [9].

$$R = 2Z_0 \quad (1)$$

$$C = \frac{1}{2Z_0\omega \tan\theta} \quad (2)$$

여기서 사용된 $Z_0 = 50 \Omega$, $\omega = 2\pi f$ 이며, θ 는 전기적 길이를 나타낸 것이다.

III. 원형 부채꼴 전력 분배기-결합기 실험결과

본 논문에서 제시한 설계 방법의 타당성을 확인하기 위하여 중심주파수 2 GHz에서 원형 부채꼴 모양의 전력 분배기-결합기를 출력 포트가 2개, 3개 그리고 출력 포트 2개 짜리를 직렬 연결한 구조등 3종류의 분배기-결합기를 설계하였다.

이 실험에 사용된 PCB는 FR-4로 유전율 상수 $\epsilon_r = 4.4$, 유전체 두께 $h = 1.574$ mm, 동박 두께 $t = 0.035$ mm)를 사용하였다. 또한, 동작 확인을 위하여 실시한 시뮬레이션은 Cadence사의 Microwave Office ver13을 사용하였다.

먼저 출력 포트가 2개인 원형 부채꼴 모양의 전력 분배기-결합기 설계는 반지름이 15 mm, 각도가 90° 인 구조로 설계를 하고 출력 포트 위치는 부채꼴을 30° 간격으로 나누어서 그 중심이 출력 포트가 되도록 설계하였다. 또한 출력 포트의 정합과 고립도를 만족시키기 위한 병렬 RC회로는 $R = 390 \Omega$ 그리고 캐패시터는 0.17 pF로 구성하였다.

또한, 출력 포트가 3개인 원형 부채꼴 모양의 전력 분배기-결합기 설계는 반지름이 15 mm, 각도가 90° 인 구조로 설계를 하고 출력 포트 위치는 부채꼴을 22.5° 간격으로 나누어서 그 중심이 출력 포트가 되도록 설계하였다. 또한 출력 포트의 정합과 고립도를 만족시키기 위한 병렬 RC회로는 $R = 270 \Omega$ 그리고 캐패시터는 0.25 pF로 구성하였다.

마지막으로, 출력 포트 2개짜리 전력 분배기-결합기 3개를 직렬 연결하여 출력 포트가 4개인 회로를 설계하였다.

그림 4는 출력 포트가 2개인 원형 부채꼴 모양의 전력 분배기-결합기 사진을 나타낸 것이다. 여기서 사용된 병렬 RC회로에서 저항 값은 $R = 270 \Omega$ 과 0.5 pF 캐패시터 3개를 직렬로 연결하여 그 값을 구현하였다. 사용된 저항이 시뮬레이션에서 구한 값과 차이가 발생하는 이유는 저항과 캐패시터가 갖고 있는 파라미터 성분과 PCB 제작에 따른 에러 때문에 소자 값이 변화된 것으로 판단된다.

그림 5는 출력 포트가 2개인 전력 분배기-결합기의 S-파라미터를 나타낸 것으로 중심주파수 2 GHz에서 출력포트의 삽입손실은 $|S_{21}| = -3.54$ dB, $|S_{31}| = -3.66$ dB 이며, 반사계수 $|S_{11}| = -23.4$ dB, $|S_{22}| = -22.7$ dB 그리고 $|S_{33}| = -23.1$ dB를 얻었으며 고립도 $|S_{32}| = -24.2$ dB를 얻었다. 시뮬레이션 데이터와 동일하게 나온 것을 알 수 있으며, 반사계수 $|S_{11}|$ 이 차이가 나는 것은 매칭회로를 튜닝한 결과로

판단된다. 또한, 측정된 결과로부터 출력 포트사이의 크기 불균형은 ± 0.1 dB와 위상 불균형은 $\pm 1^\circ$ 이내가 되는 것을 확인하였으며 이것은 전력 분배기-결합기가 대칭적 구조를 갖고 있기 때문으로 판단된다.

그림 6는 출력 포트가 3개인 원형 부채꼴 모양의 전력 분배기-결합기 사진을 나타낸 것이다. 여기서 사용된 병렬 RC회로에서 저항 값은 $R = 220 \Omega$ 과 0.5 pF 캐패시터 2개를 직렬로 연결하여 그 값을 구현하였다. 사용된 저항이 시뮬레이션에서 구한 값과 차이가 발생하는 이유는 저항과 캐패시터가 갖고 있는 파라미터 성분과 PCB 제작에 따른 에러 때문에 소자 값이 변화된 것으로 판단된다.

그림 7는 출력 포트가 3개인 전력 분배기-결합기의 S-파라미터를 나타낸 것으로 중심주파수 2 GHz에서 출력포트의 삽입손실은 $|S_{21}| = -5.5 \text{ dB}$, $|S_{31}| = -5.4 \text{ dB}$, $|S_{31}| = -5.4 \text{ dB}$ 이며, 반사계수 $|S_{11}| = -22.6 \text{ dB}$, $|S_{22}| = -17.2 \text{ dB}$, $|S_{33}| = -18.1 \text{ dB}$ 그리고 $|S_{44}| = -17.8 \text{ dB}$ 를 얻었으며 고립도 $|S_{32}| = -30.4 \text{ dB}$, $|S_{42}| = -11.7 \text{ dB}$, $|S_{43}| = -31.5 \text{ dB}$ 를 얻었다. 측정된 고립도 데이터에서 $|S_{32}|$ 와 $|S_{43}|$ 는 -30 dB 이하의 값이 나왔지만, $|S_{42}|$ 는 -10 dB 가 나온 이유는 출력 포트 2와 출력 포트 4 사이에 병렬 RC 회로가 존재하지 않음으로 인하여 특성이 열화된 것으로 판단된다. 시뮬레이션 데이터와 비교하여 반사계수 $|S_{11}|$ 이 차이가 나는 것은 매칭회로를 튜닝한 결과로 판단된다. 또한, 이것으로 인하여 $|S_{22}|$, $|S_{33}|$ 반사계수는 최적 정합점이 높은 주파수로 올라간 것으로 판단된다.

그림 8은 출력 포트가 2개인 원형 부채꼴 모양의 전력 분배기-결합기 3개 결합하여 4개의 출력 포트를 구성한 사진을 나타낸 것이다.

그림 9는 출력 포트가 2개인 전력 분배기-결합기 3개를 결합한 분배기-결합기의 S-파라미터를 나타낸 것으로 중심주파수 2 GHz에서 출력포트의 삽입손실은 $|S_{21}| = -6.9 \text{ dB}$, $|S_{31}| = -7.1 \text{ dB}$, $|S_{41}| = -7.0 \text{ dB}$, $|S_{51}| = -7.1 \text{ dB}$ 이며, 반사계수 $|S_{11}| = -16.8 \text{ dB}$, $|S_{22}| = -18.6 \text{ dB}$, $|S_{33}| = -21.5 \text{ dB}$, $|S_{44}| = -20.9 \text{ dB}$ 그리고 $|S_{55}| = -21.8 \text{ dB}$ 를 얻었으며 고립도 $|S_{32}| = -24.7 \text{ dB}$, $|S_{42}| = -32.4 \text{ dB}$, $|S_{52}| = -32.7 \text{ dB}$, $|S_{43}| = -32.7 \text{ dB}$, $|S_{53}| = -33.3 \text{ dB}$, $|S_{54}| = -23.6 \text{ dB}$ 를 얻었다. 이 결과는 3개의 분배기 특성이 중심주파수 2 GHz에서 동일하지 않아서 반사계수 특성이 시뮬레이션 결과와 상이하게 측정되었다. 측정된 결과로부터 출력 포트사이의 크기 불균형은 $\pm 0.1 \text{ dB}$ 와 위상 불균형은 $\pm 1^\circ$ 이내가 되는 것을 확인하였으며 이것은 전력 분배기-결합기가 대칭적 구조를 갖고 있기 때문으로 판단된다.

IV. 결론

본 논문에서는 평면 형태의 원형 부채꼴 전력 분배기-결

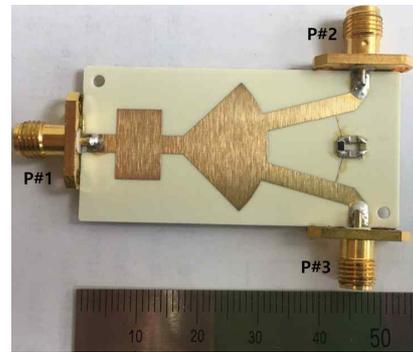


그림 4. 출력포트가 2개인 원형 부채꼴 분배기-결합기 사진
Fig. 4. Photographs of circular sector-shaped power divider-combiner with two output ports.

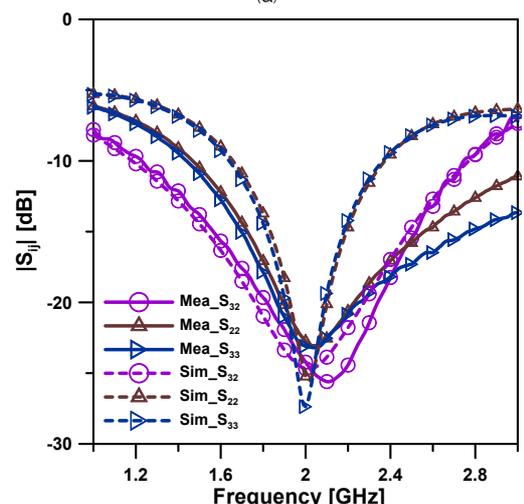
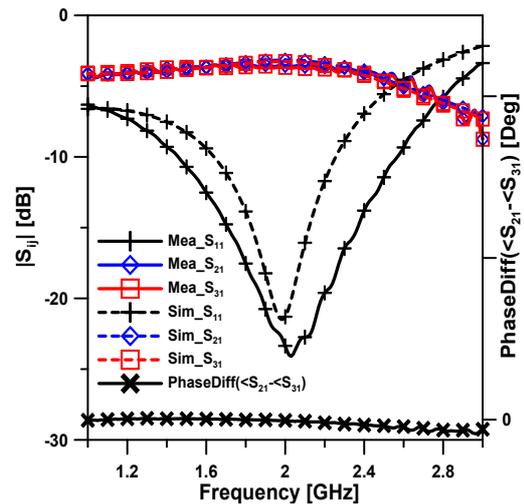


그림 5. 출력포트가 2개인 분배기-결합기 시뮬레이션과 측정결과
(a) $|S_{11}|$, $|S_{21}|$, $|S_{31}|$, 위상차이($\angle S_{21} - \angle S_{31}$) (b) $|S_{22}|$, $|S_{33}|$, $|S_{32}|$
Fig. 5. Measured and simulated results of divider-combiner with two output ports. (a) $|S_{11}|$, $|S_{21}|$, $|S_{31}|$ and Phasediff($\angle S_{21} - \angle S_{31}$) (b) $|S_{22}|$, $|S_{33}|$, $|S_{32}|$.

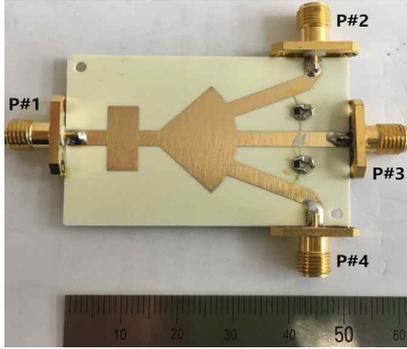
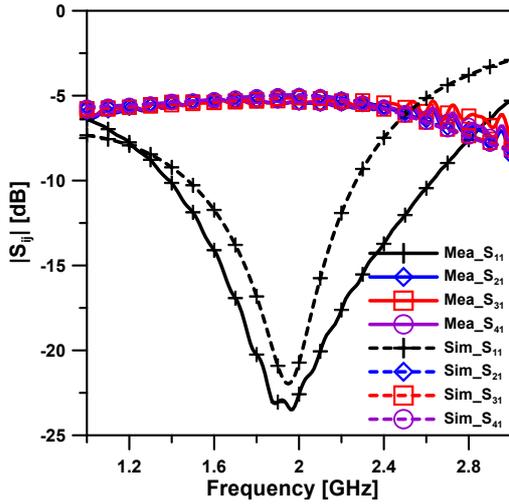
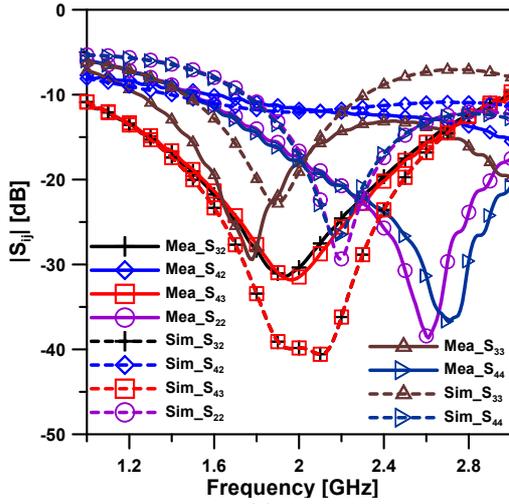


그림 6. 출력포트가 3개인 원형 부채꼴 분배기-결합기 사진
 Fig. 6. Photographs of circular sector-shaped power divider-combiner with three output ports.



(a)

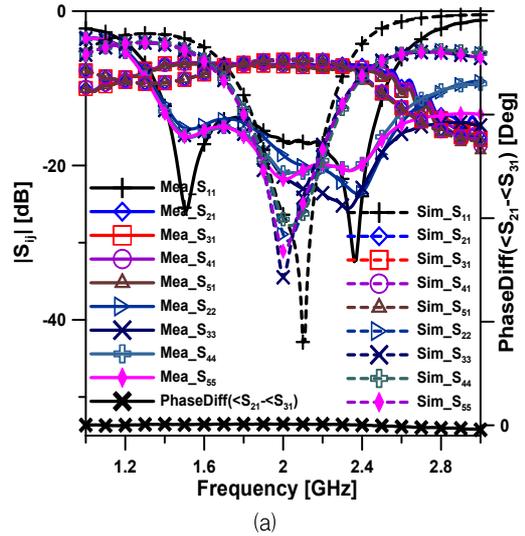


(b)

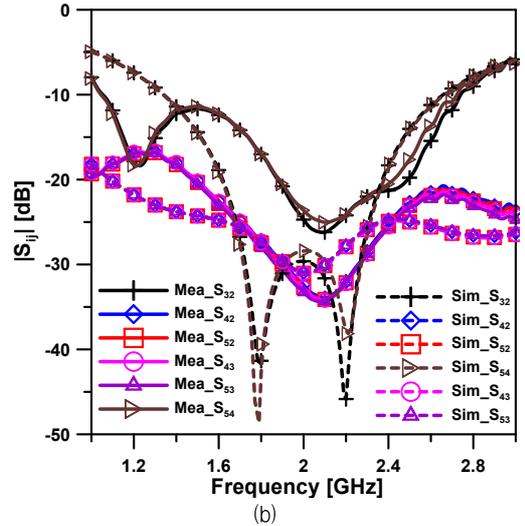
그림 7. 출력포트가 3개인 분배기-결합기 시뮬레이션과 측정결과
 (a) $|S_{11}|$, $|S_{21}|$, $|S_{31}|$, $|S_{41}|$ (b) $|S_{32}|$, $|S_{42}|$, $|S_{43}|$, $|S_{22}|$, $|S_{33}|$, $|S_{44}|$
 Fig. 7. Measured and simulated results of divider-combiner with three output ports.
 (a) $|S_{11}|$, $|S_{21}|$, $|S_{31}|$, $|S_{41}|$ (b) $|S_{32}|$, $|S_{42}|$, $|S_{43}|$, $|S_{22}|$, $|S_{33}|$, $|S_{44}|$.



그림 8. 직렬 연결한 원형 부채꼴 분배기-결합기 사진
 Fig. 8. Photographs of series connected circular sector-shaped power divider-combiner



(a)



(b)

그림 9. 직렬 연결한 원형 부채꼴 분배기-결합기 시뮬레이션과 측정결과 (a) $|S_{11}|$, $|S_{21}|$, $|S_{31}|$, $|S_{41}|$, $|S_{51}|$, $|S_{22}|$, $|S_{33}|$, $|S_{44}|$, $|S_{55}|$, 위상차이($\angle S_{21} - \angle S_{31}$) (b) $|S_{32}|$, $|S_{42}|$, $|S_{52}|$, $|S_{43}|$, $|S_{53}|$, $|S_{54}|$
 Fig. 9. Measured and simulated results of series connected circular sector-shaped divider-combiner (a) $|S_{11}|$, $|S_{21}|$, $|S_{31}|$, $|S_{41}|$, $|S_{51}|$, $|S_{22}|$, $|S_{33}|$, $|S_{44}|$, $|S_{55}|$ and $\text{PhaseDiff}(\angle S_{21} - \angle S_{31})$ (b) $|S_{32}|$, $|S_{42}|$, $|S_{52}|$, $|S_{43}|$, $|S_{53}|$, $|S_{54}|$.

합기에 설계에 대한 내용으로 출력 포트가 2개 그리고 3개인 것을 설계 제작하였고, 또 출력 포트가 2개인 것을 이용하여 출력이 4개인 회로의 특성을 확인하였다. 여기서 구성된 전력 분배기-결합기는 간단한 입력 정합회로 그리고 고립도 및 출력 반사계수 개선을 위한 병렬 RC회로로 구성되어 있으며, 대칭적 구조로 설계되어 있기 때문에 출력 크기와 위상 불균형 특성이 좋은 결과를 얻었다. 여기서 구현된 원형 부채꼴 모양의 전력 분배기-결합기는 많은 포트가 필요한 응용분야에 다양하게 사용될 것으로 판단된다.

Acknowledgments

이 연구는 금오공과대학교 학술연구비로 지원되었음 (2019-104-051)

References

[1] A. Fathy and D. Kalokitis, "Analysis and design of a 30-way radial combiner for the Ku-band applications," *RCA Review*, Vol. 47, pp. 487-508, Oct. 1974.

[2] M. D. Abouzahar and K. C. Gupta, "Multiple-port power divider/combiner circuits using circular microstrip disk configurations," *IEEE Transaction on Microwave Theory and Techniques*, Vol. 35, No. 12, pp. 1296-1302, Dec. 1987.

[3] S. H. J. Hosseini and V. Nayyeri, "Printed circuit board implementation of wideband radial power combiner," *IEEE Access*, Vol. 7, pp. 83536-83542, Jul. 2019.

[4] A. A. M. Saleh, "Planar electrically symmetric N-way hybrid power dividers/ combiners," *IEEE Transaction on Microwave Theory and Techniques*, Vol. 28, No. 6, pp. 555-563, June 1980.

[5] U. H. Gysel, "A new N-way power divider/combiner suitable for high-power applications," 1975 *IEEE MTT_S International Microwave Symposium*, CA, USA, pp. 116-118, May 1975.

[6] M. D. Abouzahar and K. C. Gupta, "Multiport power divider-combiner circuits using circular-sector-shaped planar components," *IEEE Transaction on Microwave Theory and Techniques*, Vol. 36, No. 12, pp. 1747-1751, Dec. 1988.

[7] F. Giannini, R. Sorrentino and J. Vrba, "Planar circuit analysis of microstrip radial stub," *IEEE Transaction on Microwave Theory and Techniques*, Vol. 32, No. 12, pp. 1652-1655, Dec. 1984.

[8] Y. J. Chen and R. B. Wu, "A wide-band multiport planar power-divider design using matched sectorial components in radial arrangement," *IEEE Transaction on Microwave Theory and Techniques*, Vol. 46, No. 8, pp. 1072-1078, Aug. 1998.

[9] Z. X. Du, X. Y. Zhang, K. X. Wang, H. L. Kao, X. L. Zhao, and X. H. Li, "Unequal Wilkinson power divider with reduced arm length for size miniaturization," *IEEE Transaction on Components, Packaging and Manufacturing Technology*, Vol. 6, No. 2, pp. 282-289, Feb. 2016.

[10] P.H. Deng and Y.T. Chen, "New Wilkinson power dividers and their integration applications to four-way and filtering dividers," *IEEE Transaction on Components, Packaging and Manufacturing Technology*, Vol. 4, No. 11, pp. 1828-1837, Nov. 2014.



김 영 (Young Kim)

1988년 2월 : 서강대학교 전자공학과 (공학석사), 2002년 8월 : 서강대학교 대학원 전자공학과 (공학박사)
 1988년 1월 ~ 1993년 5월 : 이즈텔 시스템즈(주) 연구소 선임연구원
 1993년 6월 ~ 1998년 2월 : 삼성전자(주) 정보통신사업본부 선임연구원
 1998년 3월 ~ 2003년 2월 : 두원공과대학 정보통신과 조교수
 2003년 3월 ~ 현재 : 금오공과대학교 전자공학부 교수
 ※ 관심분야 : RF 및 Microwave 회로해석 및 설계, 전력 증폭기 및 선형화기 설계