

## 단일 전송선로의 전기적 길이 조정을 이용한 비대칭 분배기

# Unequal Power Divider based on Adjustment Electrical Length of Uniform Transmission Line

권 상근 · 김 영

금오공과대학교 전자공학부

Sang-Keun Kwon · Young Kim

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

### [요 약]

본 논문은 단일 전송선로의 전기적 길이만을 조정된 비대칭 분배기 설계를 나타내었다. 이 분배기는 3개의 단일 전송선로와 고립 저항 1개 그리고 입력과 출력의 포트 중단 임피던스가 서로 다른 형태로 구성되어있다. 분배기의 특징은 입출력 포트 그리고 출력 포트와 고립저항 사이에 연결된 단일 전송선로의 전기적 길이를 조정하여 출력 포트의 분배비율을 조정하였다. 이러한 분배기의 설계 방법을 확인하기 위해서 1:2 분배 비율의 비대칭 분배기는 60 Ω의 단일 전송선로를 이용하여 입력 포트 임피던스는 40 Ω, 출력 포트의 임피던스는 45 Ω으로 동일하게 설정하였고, 삽입손실은 1.7 dB/ 5.0 dB, 반사 손실은 -30 dB 이상 그리고 고립도는 -35 dB 이상 측정되었다. 또한, 1:4 분배 비율의 비대칭 분배기는 40 Ω의 단일 전송선로를 이용하여 입력 포트 임피던스는 50 Ω, 출력 포트의 임피던스는 75 Ω으로 동일하게 설정하여, 삽입손실은 1.3 dB/ 6.8 dB, 반사 손실은 -12 dB 이상 그리고 고립도는 -19 dB 이상 되는 전기적 특성을 확인하였다. 측정된 특성 데이터는 시뮬레이션과 잘 일치함을 확인하였다.

### [Abstract]

In this paper, an unequal power divider based on adjusting electrical length of uniform transmission line is presented. This divider consists of three uniform transmission lines and one isolation resistor and have the different port impedances of input and output. The feature of proposed divider can changed the power dividing ratio to adjust only electrical length of uniform transmission lines. To verify the feasibility of proposed power divider, two divider circuits are designed, one is 1:2 power dividing ratio divider with 60 Ω uniform transmission line and 40 Ω input port impedances and 45 Ω output port impedances, the performance data were measured the insertion losses of 1.7 dB/ 5.0 dB, return losses of more than -30 dB and isolation of more than -35 dB. The other is 1:4 power dividing ratio divider with 40 Ω uniform transmission line and 50 Ω input port impedances and 75 Ω output port impedances, the performance data were measured the insertion losses of 1.3 dB/ 6.8 dB, return losses of more than -12 dB and isolation of more than -19 dB. The measured performance data agreed well with the simulated results.

**Key word** : Different port impedance, Unequal power divider, Uniform transmission line.

<https://doi.org/10.12673/jant.2018.22.6.642>



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 16 November 2018; Revised 27 November 2018

Accepted (Publication) 10 December 2018 (30 December 2018)

Corresponding Author; Young Kim

Tel: +82-54-478-7506

E-mail: [youngk@kumoh.ac.kr](mailto:youngk@kumoh.ac.kr)

## 1. 서론

전력 분배기는 무선 계측기와 무선 장비에 사용되는 가장 기본적인 수동 소자이다. 이것은 전력을 분배함에 있어서 전송선로의 임피던스 변화에 따라서 전력 분배 비율을 조정하여 분배하는 것이다 [1],[2]. 전송선로의 임피던스 값에 따라서 분배 비율이 결정되기 때문에 분배 비율이 크면 전송선로의 큰 임피던스를 구현하는데 어려움이 존재한다. 기존에 사용된 큰 임피던스의 구현 방법은 마이크로스트립 선로의 후면을 식각한 형태의 DGS [3]를 이용한 것, 큰 결합 계수를 갖는 단락된 결합선로 [4]를 이용하는 것 그리고 마이크로스트립 후면에 slot 선로를 만든 방법 [5] 등으로 구현하였다. 이러한 전송선로를 이용한 분배기는 전기적인 특성은 만족하였지만 제작의 어려움이 공통적으로 존재한다.

최근에는 비대칭 분배 비율을 갖는 분배기를 구현하는 방법은 기존의 전송선로의 임피던스 변화에 의한 방법에서 단일 전송선로의 전기적 길이를 조절하는 방법 [6]-[8] 또는 단일 전송선로와 고립저항에 스텔브를 연결하는 방법 [9] 등으로 분배비율을 조정하는 방법이 제시되고 있다. 이러한 설계 방법은 단일 전송선로를 이용하기 때문에 제작의 편리성과 설계의 간편성을 갖고 있다. 하지만 기존의 단일 전송선로를 이용한 분배기는 포트 임피던스가 모두 50 옴으로 설계되어 있어 50 옴이 아닌 소자와 연결시키려면 별도의 임피던스 변환기를 사용해야하는 불편함이 존재한다.

본 논문에서는 단일 전송선로를 사용하고 입력 포트의 임피던스와 출력의 임피던스가 다른 비대칭 분배기를 설계하는 방법을 제시하였다. 이러한 설계 방법은 단일 임피던스로 구현하는 분배기의 장점과 동시에 입출력 임피던스가 다르게 설계가 가능하여 서로 다른 임피던스의 소자와 연결할 때 별도의 임피던스 변환기가 필요 없기 때문에 작은 크기로 시스템을 구현할 수 있는 특징을 갖고 있다.

## II. 비대칭 분배기의 구성

### 2-1 제안한 비대칭 분배기 회로도

제안한 분배기 회로도는 그림 1에 나타내었다. 이 분배기는 전기적인 길이가  $\theta_a$ ,  $\theta_b$ ,  $\theta_c$ 를 갖는 3개의 단일 전송선로와 고립저항  $R_i$  그리고 입력 포트 임피던스는  $R_{a1}$ , 출력 포트 임피던스는  $R_{b1}$ 으로 구성되어 있다.

이 비대칭 분배기는 분배비율이  $k^2 (= P_2 / P_3)$  으로 표현되며 S-파라미터는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$(S) = \frac{1}{\sqrt{1+k^2}} \begin{pmatrix} 0 & ke^{j\beta} & e^{j\beta} \\ ke^{j\beta} & 0 & 0 \\ e^{j\beta} & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (1)$$

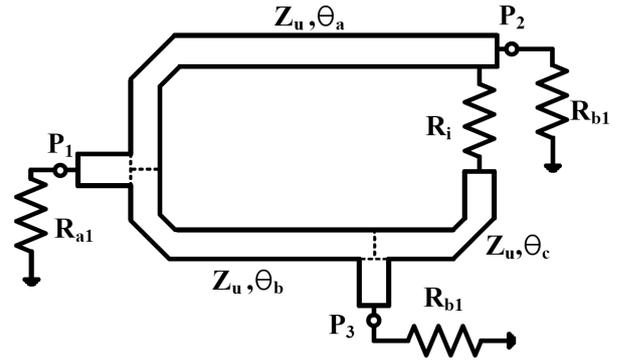


그림 1. 제안한 비대칭 분배기 회로도  
Fig. 1. Schematic of proposed unequal power divider.

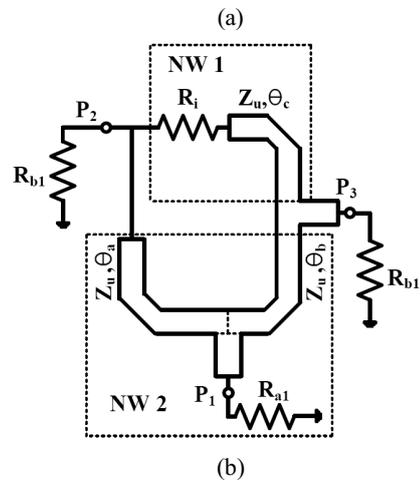
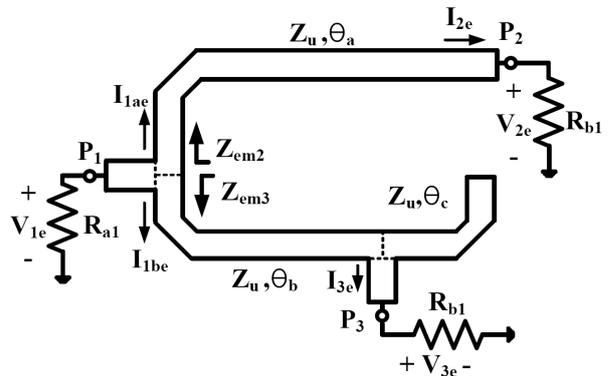


그림 2. 등가회로 (a) 신호가 포트 1로 입력되었을 때 (b) 신호가 포트 2로 입력되었을 때  
Fig. 2. Equivalent circuit (a) when the port 1 excited and (b) when the port 2 excited.

여기서  $\beta$  값은 전달 계수의 위상을 나타낸 것이다.

### 2-2 비대칭 분배기의 해석

그림 2(a)는 포트 1로 신호가 입력되었을 때의 등가회로

를 나타낸 것이다. 이 회로의 해석은 입출력 임피던스가  $R_{u1}$ 과  $R_{b1}$ 으로 다르기 때문에 임피던스가 동일한 경우에 해석할 수 있는 우수 - 기수 모드 해석법으로는 해석할 수 없어 S-파라미터 방법을 이용하여야 한다. 포트 1에서 신호가 입력되어 출력 포트 2와 3에 각각 전력이 전달되고, 포트 1에서 포트 2 가지로 부터 접지 사이의 전압은 포트 1에서 포트 3 가지로 부터 접지 사이의 전압과 같아서 고립저항 사이에 어떠한 전류도 흐르지 않는다. 이리므로 인하여 그림 2(a)와 같이 동작하게 된다. 포트 1과 포트 2 또는 3사이의 ABCD 파라미터를 구하면 다음과 같다.

$$\begin{pmatrix} V_{1e} \\ I_{1ae} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \theta_a & jZ_u \sin \theta_a \\ \frac{j \sin \theta_a}{Z_u} & \cos \theta_a \end{pmatrix} \begin{pmatrix} V_{2e} \\ I_{2e} \end{pmatrix} \quad (2)$$

$$\begin{pmatrix} V_{1e} \\ I_{1be} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \theta_b & jZ_u \sin \theta_b \\ \frac{j \sin \theta_b}{Z_u} & \cos \theta_b \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ \frac{j \tan \theta_c}{Z_u} & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} V_{3e} \\ I_{3e} \end{pmatrix} \quad (3)$$

식 (2)와 (3)의 ABCD 파라미터를 S 파라미터로 변환할 수 있으며 이때 고려할 사항은 포트 1과 포트 2와 3의 종단 임피던스가 다른 것을 고려하여 S 파라미터  $S_{21}$ 과  $S_{31}$ 을 구한 것을 식 (4) ~ (6)에 나타내었다.

$$S_{21} = \frac{2\sqrt{\frac{1+k^2}{k^2}R_{a1}R_{b1}}}{(R_{a2} + \frac{1+k^2}{k^2}R_{a1})\cos\theta_a + jZ_u\sin\theta_a(1 + \frac{1+k^2}{Z_u^2k^2}R_{a1}R_{b1})} \quad (4)$$

$$S_{31} = \frac{2\sqrt{(1+k^2)R_{a1}R_{b1}}}{A_{real} + jB_{img}} \quad (5)$$

여기서  $A_{real}$  과  $B_{img}$ 는 다음과 같다.

$$A_{real} = (R_{a2} + (1+k^2)R_{a1})\cos\theta_b - R_{b1}\sin\theta_b\tan\theta_c \quad (6)$$

$$B_{img} = (Z_u + \frac{1+k^2}{Z_u}R_{a1}R_{b1})\sin\theta_b + (1 + \frac{1+k^2}{Z_u}R_{a1}R_{b1})\cos\theta_b\tan\theta_c$$

또한, 비대칭 분배기의 특성을 나타내는  $S_{21} = k \cdot S_{31}$ 을 만족하여야 하므로 식 (4)와 (5)를 이용하여 이 조건을 만족하는 수식을 아래와 같이 구할 수 있다.

$$k^2(R_{b2} + \frac{1+k^2}{k^2}R_{a1})\cos\theta_a = [R_{b2} + (1+k^2)R_{a1}]\cos\theta_b - R_{b1}\sin\theta_b\tan\theta_c \quad (7)$$

$$k^2(Z_u^2 + \frac{1+k^2}{k^2}R_{a1}R_{b1})\sin\theta_a = [Z_u^2 + (1+k^2)R_{a1}R_{b1}]\sin\theta_b + (1+k^2)R_{a1}R_{b1}\cos\theta_b\tan\theta_c \quad (8)$$

그림 2(a)에서 입력 포트에서 정합 조건을 만족하기 위해서 다음의 조건을 만족하여야 한다.

$$\frac{1}{R_{a1}} = \frac{1}{Z_{em2}} + \frac{1}{Z_{em3}} \quad (9)$$

$$Z_{em2} = Z_u \frac{R_{b1} + jZ_u \tan\theta_a}{Z_u + jR_{b1} \tan\theta_a} \quad (10)$$

$$Z_{em3} = Z_u \frac{(R_{b1} // \frac{Z_u}{j \tan\theta_c}) + jZ_u \tan\theta_a}{Z_u + j(R_{b1} // \frac{Z_u}{j \tan\theta_c}) \tan\theta_a} \quad (11)$$

여기서  $Z_{em2}$ ,  $Z_{em3}$ 는 포트 1에서 포트 2와 3을 바라본 입력 임피던스를 나타낸 것이다.

여기서 에너지 보존과 이상적인 전송선로를 바탕으로  $Z_{em2}$ ,  $Z_{em3}$  입력 임피던스의 실수 값은 다음 조건을 만족하여야 한다.

$$Re[Z_{em2}] = \frac{1+k^2}{k^2}R_{a1} \quad (12)$$

$$Re[Z_{em3}] = (1+k^2)R_{a1} \quad (13)$$

한편 그림 2(b)는 포트 2로 신호가 입력되었을 때의 등가 회로를 나타낸 것으로 포트 2와 3사이의 S 파라미터 특성을 얻기 위해서는 다음과 과정을 통해서 구할 수 있다.

먼저 네트워크 NW1과 NW2 회로 각각의 ABCD 파라미터를 아래 식과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{pmatrix} A_1 & B_1 \\ C_1 & D_1 \end{pmatrix}_{NW1} = \begin{pmatrix} 1 & R_i \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos\theta_c & jZ_u \sin\theta_c \\ \frac{j \sin\theta_c}{Z_u} & \cos\theta_c \end{pmatrix} \quad (14)$$

$$\begin{pmatrix} A_2 & B_2 \\ C_2 & D_2 \end{pmatrix}_{NW2} = \begin{pmatrix} \cos\theta_a & jZ_u \sin\theta_a \\ \frac{j \sin\theta_a}{Z_u} & \cos\theta_a \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ \frac{1}{R_{a1}} & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos\theta_b & jZ_u \sin\theta_b \\ \frac{j \sin\theta_b}{Z_u} & \cos\theta_b \end{pmatrix} \quad (15)$$

위의 식 (14), (15)에서 구한 ABCD 파라미터를 어드미턴스 파라미터로 각각 변환하여 NW1과 NW2 네트워크가 병렬로 연결된 두 네트워크의 전체 어드미턴스 파라미터를 구하면 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{pmatrix} Y_{11T} & Y_{12T} \\ Y_{21T} & Y_{22T} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} y_{11} & y_{12} \\ y_{21} & y_{22} \end{pmatrix}_{NW1} + \begin{pmatrix} y_{11} & y_{12} \\ y_{21} & y_{22} \end{pmatrix}_{NW2} \quad (16)$$

을 나타낸다.

식 (16)에서 구한 어드미턴스 파라미터를 다시 S 파라미터로 변환하면 포트 2와 3사이의 S-파라미터를 다음과 같이 구할 수 있다.

$$S_{22} = - \frac{(Y_{11T} - \frac{1}{R_{a1}})(Y_{22T} + \frac{1}{R_{b1}}) - Y_{12T}Y_{21T}}{\Delta_Y} \quad (17)$$

$$S_{33} = - \frac{(Y_{11T} + \frac{1}{R_{b1}})(Y_{22T} - \frac{1}{R_{b1}}) - Y_{12T}Y_{21T}}{\Delta_Y} \quad (18)$$

$$S_{23} = S_{32} = - \frac{2 \frac{1}{R_{b1}} Y_{21T}}{\Delta_Y} \quad (19)$$

앞에서 구한 결과인 식 (7), (8), (12) (13) 과 식 (17) - (19)을 이용하여 수치 해석적 방법을 사용하여 비대칭 분배기의 전기적인 특성을 만족하는 고립저항  $R_i$  와 단일 전송선로의 전기적인 길이  $\theta_a$ ,  $\theta_b$ ,  $\theta_c$ 를 MATLAB을 이용하여 구할 수 있다.

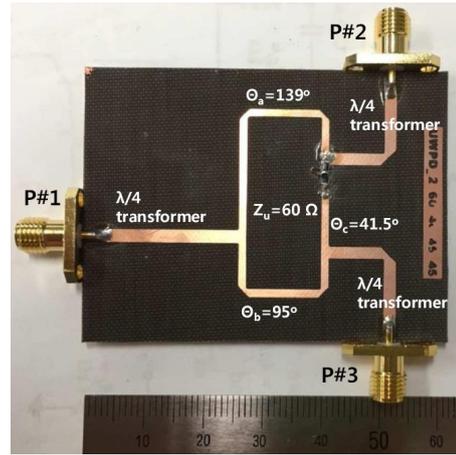
### III. 분배기의 실험결과

앞에서 설명한 이론을 바탕으로 중심 주파수 2 GHz에서 두 종류의 비대칭 분배기를 설계하여 설계 방법의 타당성을 확인하였다. 첫 번째 분배기는 1:2 분배비율을 갖고 단일 전송선로의 임피던스는 60 Ω, 입력 포트 종단 임피던스는 40 Ω 그리고 출력 포트 종단 임피던스는 45 Ω로 설정하였다. 두 번째 분배기는 1:4 분배비율을 갖고 단일 전송선로의 임피던스는 40 Ω, 입력 포트 종단 임피던스는 50 Ω 그리고 출력 포트 종단 임피던스는 75 Ω로 설정하였다. 이때 사용된 PCB는 테프론 재질로 비유전율은 2.5, 유전체 두께는 0.787 mm 그리고 구리 두께는 0.035 mm를 사용하였으며, NI사의 Microwave Office 소프트웨어를 이용하여 시뮬레이션하였다.

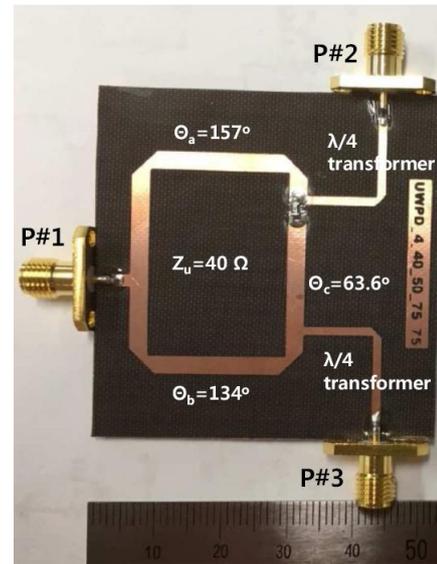
먼저 식 (7), (8), (12) (13) 과 식 (17) ~ (19)을 이용하여 분배기의 특성을 만족하는 결과를 MATLAB을 이용하여 구하였다. 첫 번째 1:2 분배 비율의 비대칭 분배기는 임피던스 60 Ω의 단일 전송선로의 길이는  $\theta_a = 139^\circ$ ,  $\theta_b = 95^\circ$ ,  $\theta_c = 41.5^\circ$  이며 이때 고립저항은 90 Ω을 얻었고, 1:4 분배 비율의 비대칭 분배기에서는 임피던스 40 Ω의 단일 전송선로의 길이는  $\theta_a = 157^\circ$ ,  $\theta_b = 134^\circ$ ,  $\theta_c = 63.6^\circ$  이며 이때 고립저항은 18 Ω을 구하였다.

그림 3은 1:2와 1:4 분배 비율을 갖는 제작된 비대칭 분배기의 사진을 나타내었다. 1:2 분배 비율 분배기는 포트 1의 종단 임피던스가 40 Ω 그리고 포트 2와 3의 종단 임피던스가 45 Ω이기 때문에 계측기와 50 Ω과 정합을 위해서 λ/4 임피던스 변환기를 사용하였다. 또한 1:4 분배 비율에서는 포트 1 종단 임피던스는 50 Ω 그리고 포트 2와 3의 종단 임피던스는 75 Ω이므로 λ/4 임피던스 변환기를 사용하였다.

그림 4는 1:2 분배 비율의 비대칭 분배기의 전기적인 특성을 나타내었다. 측정된 결과를 살펴보면 중심 주파수 2 GHz에서 삽입 손실은  $|S_{21}| = 1.7$  dB,  $|S_{31}| = 5.0$  dB가 측정되었고, 포트 1의 반사 손실은  $|S_{11}|$ 은 -35 dB 이상 그리고 포트 2와 3의 반사 손실  $|S_{22}|$ ,  $|S_{33}|$ 도 -30 dB 이상 얻었다. 또한 고립도  $|S_{32}|$ 은 -35 dB 이상 확보되었음을 보여준다.



(a)



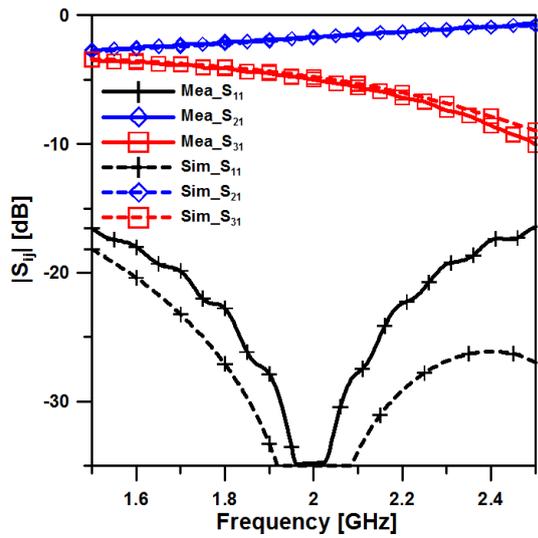
(b)

그림 3. 제작된 비대칭 분배기 사진 (a) 1:2 분배 비율 (b) 1:4 분배 비율

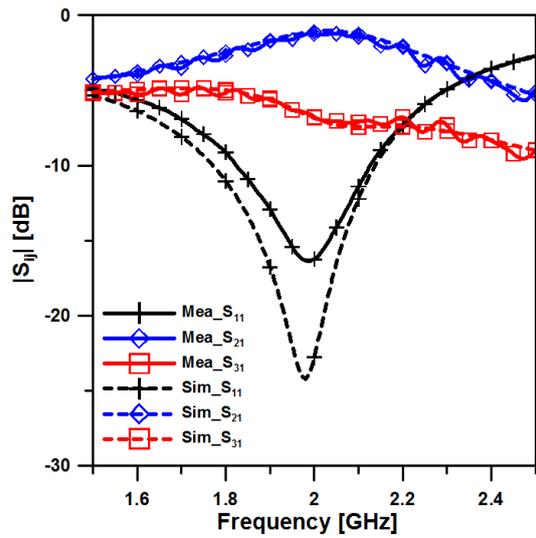
Fig. 3. Photograph of fabricated unequal power divider (a) power dividing ratio of 1:2 (b) power dividing ratio of 1:4.

또한 1:4의 분배 비율을 갖는 분배기의 특성은 그림 5에 나타내었으며, 측정된 결과를 살펴보면 중심 주파수 2 GHz에서 삽입 손실은  $|S_{21}| = 1.3$  dB,  $|S_{31}| = 6.8$  dB가 측정되었고, 포트 1의 반사 손실은  $|S_{11}|$ 은 -16 dB 이상 그리고 포트 2와 3의 반사 손실  $|S_{22}|$ ,  $|S_{33}|$ 도 -20 dB, -12 dB 이상 얻었다. 또한 고립도  $|S_{32}|$ 은 -19 dB 이상 확보되었음을 보여준다.

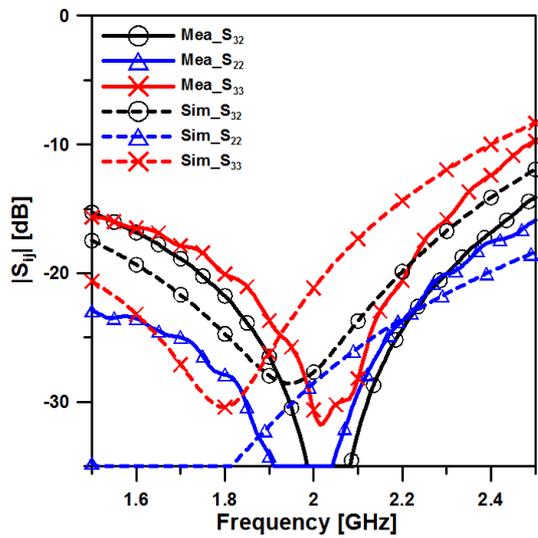
이상의 실험결과에서 보면 분배 비율이 커질수록 그리고 포트 임피던스가 클수록 반사계수와 고립도의 특성이 나빠지는 것을 알 수 있다.



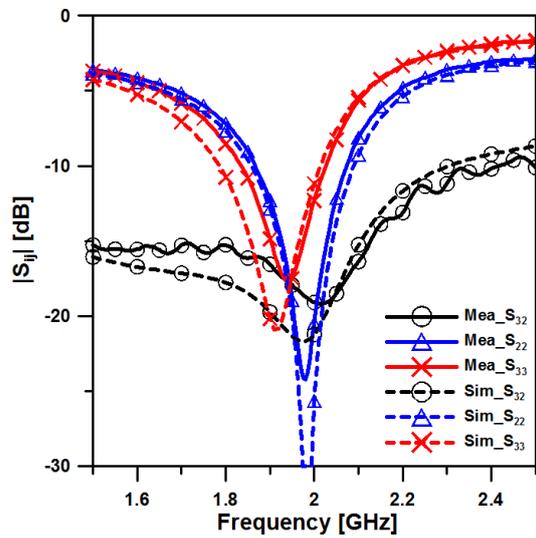
(a)



(a)



(b)



(b)

그림 4. 1:2 분배 비율의 비대칭 분배기 특성 (a)  $|S_{11}|$ ,  $|S_{21}|$ ,  $|S_{31}|$  (b)  $|S_{22}|$ ,  $|S_{33}|$ ,  $|S_{32}|$

Fig. 4. Characteristics of unequal power divider with 1:2 power dividing ratio (a)  $|S_{11}|$ ,  $|S_{21}|$ ,  $|S_{31}|$  (b)  $|S_{22}|$ ,  $|S_{33}|$ ,  $|S_{32}|$

그림 5. 1:4 분배 비율의 비대칭 분배기 특성 (a)  $|S_{11}|$ ,  $|S_{21}|$ ,  $|S_{31}|$  (b)  $|S_{22}|$ ,  $|S_{33}|$ ,  $|S_{32}|$

Fig. 5. Characteristics of unequal power divider with 1:4 power dividing ratio (a)  $|S_{11}|$ ,  $|S_{21}|$ ,  $|S_{31}|$  (b)  $|S_{22}|$ ,  $|S_{33}|$ ,  $|S_{32}|$

IV. 결론

본 논문에서는 40 옴과 60 옴의 임피던스를 갖는 단일 전송선로를 이용하여 전송선로 길이만을 조정하여 비대칭 분배기 설계하는 방법을 제시하였다. 입력과 출력 임피던스가 다른 조건에서도 비대칭 분배기의 특성이 시뮬레이션과 동일한 결과를 얻을 수 있음을 확인하였다. 이러한 방법은 입출력 포트의 임피던스가 50 옴이 아니어도 신호를 분배할 수 있으며 또한 단일 전송선로를 이용하였다

때문에 제작의 편리성을 확보할 수 있음을 보여주었다.

References

[1] H.-R. Ahn and I. Wolff, "Three port 3 dB power divider terminated by different impedances and its application to MMIC's," *IEEE Transaction Microwave Theory & Technology*, Vol. 47, No. 6, pp. 786-794, Jun. 1999.  
 [2] H.-R. Ahn and I. Wolff, "General design equations, small

- sized impedance transformers, and their application to small sized three port 3 dB power dividers,” *IEEE Transaction Microwave Theory & Technology*, Vol. 49, No. 7, pp. 1277-1288, Jul. 2001.
- [3] J.-S. Lim, C.-S. Kim, Y.-T. Lee, D. Ahn and Nam, “Design of lowpass filters using defected ground structure and compensated microstrip line,” *Electronics Letters*, Vol. 38, No. 22, pp. 1357-1358, Oct. 2002.
- [4] J.W. Gippich, “A new class of branch line directional couplers,” in *1993 IEEE MTT-S International Microwave Symposium*, Atlanta: GA, Jun. 1993.
- [5] A. Arbabi, A. Boutejdar, M. Mahmoudi and A. Omar, “Increase of characteristic impedance of microstrip line using a simple slot in metallic ground plane,” in *2006 First International Conference on Communications and Electronics*, Hanoi: Vietnam, Oct. 2006.
- [6] K.-K.M. Cheng and P.-W. Li, “A novel power divider design with unequal power dividing ratio and simple layout,” *IEEE Transaction Microwave Theory & Technology*, Vol. 57, No. 6, pp. 1589-1594, Jun. 2009.
- [7] P.-W. Li and K.-K.M. Cheng, “A new unequal power divider design with enhanced insertion loss flatness,” *IEEE Microwave Wireless Component Letters*, Vol. 19, No. 12, pp. 786-788, Dec. 2009.
- [8] T. Qi, S. He, Z. Dai and W. Shi, “Novel unequal power divider with 50  $\Omega$  characteristic impedance lines,” *IEEE Microwave Wireless Component Letters*, Vol. 26, No. 3, pp. 180-182, Mar. 2016.
- [9] Y.-Z. Zhu, X.-F. Zhang, X.-F. Wu, C. Li and G.-Y. Fang, “Novel Wilkinson power divider with uniform impedance line,” in *2008 Asia-Pacific Microwave Conference*, Macau: China, Dec. 2008.



**권 상 근 (Sang-Keun Kwon)**

1987년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학석사)  
 1993년 8월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학박사)  
 1990년 9월 ~ 현재: 금오공과대학교 전자공학부 교수

※주 관심분야: 영상통신, 디지털 통신 시스템, 신호 처리



**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