



Implementation and Design of Wideband Coupler Composed of Multi-stage Branch Line

Doo-Yeong Yang*

Department of Telecommunication Engineering, Jeju National University

A B S T R A C T

In designing the branch line coupler, it is very important to set the impedance of each line because the amount of signal coupling at the output port is determined by the impedance of each line constituting the branch line. Since the coupling coefficient between the input and output ports is determined by the impedance condition of the line in the multi-stage branch line structure, the impedance of each line to obtain the desired coupling coefficient can be obtained by applying even-odd mode circuit analysis. In this paper, the multi-stage microstrip branch line structure is constructed and a hybrid coupling structure is used to distribute the half-power type of circuit lines connected to each port for signal transmission. We also obtained the broadband characteristics by optimizing the width and length of the line impedance to reduce the phase error within the operating range. We also analyzed the influence of the output signal amplitude and phase error on the beam pattern and beam steering direction obtained from the wide band design results of the five-stage branch line coupler. The fabricated hybrid branch line coupler has the operating frequency band of 2.15 GHz to 3.4 GHz, with a relative bandwidth of about 47%. In the band, the transmission characteristic and phase difference between output ports are less than 3.3 ± 0.5 dB and $90 \pm 1^\circ$. It shows good insertion loss, a half power and wide band characteristics.

© 2020 KKITS All rights reserved

KEYWORDS : Multi-stage microstrip branch line structure, Hybrid coupling structure, Broadband characteristics, Beam pattern and beam steering, Five-stage branch line

ARTICLE INFO: Received 28 May 2020, Revised 6 July 2020, Accepted 10 August 2020.

*Corresponding author is with the Department of Telecommunication Engineering, Jeju National University, 102 Jejudaehak-ro Jeju-si, Jeju Self-Governing Province,

63243, KOREA.

E-mail address: yeongyd@jejunu.ac.kr

1. 서론

매우 복잡한 이동통신 환경하에서 많은 양의 데이터를 신속하게 전송하기 위해서는 넓은 주파수 대역을 이용하여 많은 수의 입력 신호와 출력 신호를 동시에 처리해야 한다. 이러한 대량 다중입출력 (M-MIMO; Massive Multiple Input and Multiple Output) 시스템의 빔성형 네트워크에 사용되는 마이크로스트립 결합기는 광대역 주파수 채널에서 출력 신호의 크기와 위상 오차가 없어야 전자과 빔을 성형하는데 문제점이 발생하지 않는다. 많은 수의 다중입력과 출력 신호를 처리해야 하는 M-MIMO 시스템은 광대역 빔성형 네트워크를 통하여 여러 개의 송신과 수신 신호를 분리하고 분별하여 동시에 처리할 수 있어야 한다[1,2]. 빔성형 네트워크를 구성하는데 필요한 부품인 기존의 마이크로스트립 브랜치라인 결합기는 넓은 대역 주파수에서 출력신호의 크기와 위상을 일정한 범위 내의 오차로 유지하기가 힘들다[3,4]. 이러한 이유로 인하여 이동상황에 놓인 단말기 방향으로 전자과 빔의 방향을 원하는 데로 조정할 수가 없다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 일반적인 마이크로스트립 결합기의 구조를 다단 브랜치라인 구조체로 바꾸어 전송 신호의 왜곡을 없애고 원하는 방향으로 전자과 빔을 원활히 성형하여야 한다 [5,6]. 마이크로스트립 브랜치라인 결합기의 대역을 넓히는 연구로는 브랜치라인을 여러 개의 섹션으로 연결하여 전달 신호간의 결합력을 키우는 방법 [7], 브랜치라인들 사이에 금속 봉을 삽입하는 방법 [8], 또는 브랜치라인 사이에 사각 패치를 삽입하는 방법[9]과 결합기에 부가적으로 다이오드를 삽입하여 동작대역을 조절하고 위상 오차를 줄이는 방법 [10,11] 등이 있다.

본 논문의 1장인 서론에서는 결합기에 대한 연구배경과 동향 및 관련 연구에 대하여 기술하였으

며, 2장에서는 광대역 특성을 얻기 위한 결합기의 이론적인 해석과 설계 방법에 대하여 다룬다. 이론적인 해석 과정에 다단으로 구성된 마이크로스트립 브랜치라인 결합기의 구조체를 만들고, 신호전송을 위해 서로 연결되는 회로선로의 형태를 반전력 분배되도록 하이브리드 결합구조를 적용한다. 그리고 동작범위 내에서 위상 오차를 줄일 수 있도록 브랜치라인의 임피던스 폭과 길이를 최적화하기 위한 설계 공식을 도출함으로써 광대역 특성을 얻는다. 또한, 3장에서는 결합기의 광대역 특성 분석을 위하여 브랜치라인의 구조를 5단으로 구성하여 설계하여 제작하고, 4장에서는 시뮬레이션과 측정 결과를 통하여 얻어진 출력신호의 크기와 위상의 변화를 비교하고 분석하며, 이를 토대로 5장에서 결론을 맺는다.

2. 다단 브랜치라인 결합기 구조 해석

광대역 특성을 갖는 다단 브랜치라인 결합기의 구조는 3dB 하이브리드 커플러의 형태를 갖는다. 일반적인 3dB 하이브리드 결합기는 입력포트로 급전된 신호가 통과포트와 결합포트에 1/2 로 나누어 전달되고 통과포트와 결합포트 간에는 90°의 위상차를 나타내는 방향성 결합기이다. 이 하이브리드 결합기는 평판 마이크로스트립 기판에서 2단 브랜치라인 구조로 설계되지만 $\lambda/4$ 길이의 필수조건 때문에 2단 브랜치라인 결합기의 대역폭은 10% 이내이므로 30% 이상의 광대역을 요구하는 마이크로스트립 응용회로의 구성요소로 사용할 경우 원하는 동작 범위 내에서 동작 효과를 볼 수 없다는 단점이 있다. 따라서 보다 넓은 대역에서 동작하기 위해서는 브랜치라인을 여러 단으로 구성하여야 한다.

브랜치라인 결합기는 브랜치라인을 구성하는 각 선로들의 임피던스에 따라 결합포트에 전달되는

신호의 결합계수가 결정된다. 따라서 다단으로 구성된 브랜치라인의 임피던스를 이론적으로 분석하여 체계적인설계가 이루어져야 광대역 특성을 갖는 결합기를 얻을 수 있다.

<그림 1>은 5단 브랜치라인 구조에서 브랜치라인의 임피던스 값에 따라 입력과 출력 포트 간에 전달되는 신호의 결합정도가 달라지므로, 설계 값에 필요한 선로의 임피던스를 구하기 위해서는 브랜치 회로에 우수(even)와 기수(odd) 모드 해석법[8]을 적용하여 구할 수 있다. 각 선로의 특성은 Y_0 로 정규화된 어드미턴스로 나타내며, 입출력 포트의 정규화된 어드미턴스 값은 1이 된다. 여기서 P_n 은 각각의 포트에 나타나는 신호이고, 브랜치 회로를 구성하는 선로들의 길이는 사분파장 ($\lambda/4$)이며, $y_{a,b,c,d,e}$ 는 브랜치라인들의 정규화 어드미턴스를 나타낸다.

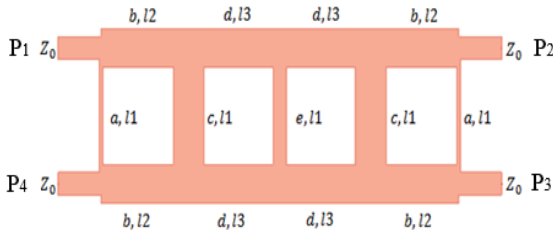


그림 1. 5단 브랜치라인 결합기 구조
Figure 1. Structure of five-stage branch line coupler

모드 해석법을 적용하면 <그림 1>의 4포트 회로는 인가되는 급전신호에 따라 대칭성과 비대칭성으로 인해 두 개로 분리된 2포트 회로로 나눌 수 있다. 우수모드의 경우는 동일한 크기와 위상의 두 입력 신호가 회로로 인가됨으로 인하여 대칭성 회로가 되어 세로로 놓인 브랜치라인에는 전류가 흐르지 않아 개방 스테르브로 나타낼 수 있으며, 기수모드의 경우에는 정반대인 신호를 인가하게 되므로 비대칭성으로 인해 세로로 놓인 브랜치라인에

전류가 최대로 흐르기 때문에 단락 스테르브로 표현된다. 2포트 회로로 나누어진 회로의 각 부분을 ABCD 파라미터 행렬로 계산하면 다음과 같다.

$$M_{\pm} = \begin{bmatrix} A_1 & B_1 \\ C_1 & D_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_2 & B_2 \\ C_2 & D_2 \end{bmatrix} \dots \begin{bmatrix} A_n & B_n \\ C_n & D_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix}_{e,o}$$

여기서

$$\begin{aligned} A &= 1 - \frac{2y_a y_c}{y_b^2} - \frac{y_c y_e}{y_d^2} + \frac{y_a y_c^2 y_e}{y_b^2 y_d^2} \\ B &= \pm j \left(\frac{2y_c}{y_b^2} - \frac{y_c^2 y_e}{y_b^2 y_d^2} \right) \\ C &= \pm j \left(2y_a + \frac{y_b^2 y_e}{y_d^2} - \frac{2y_a y_c y_e}{y_d^2} - \frac{2y_a^2 y_c}{y_b^2} + \frac{y_a^2 y_c^2 y_e}{y_b^2 y_d^2} \right) \\ D &= 1 - \frac{2y_a y_c}{y_b^2} - \frac{y_c y_e}{y_d^2} + \frac{y_a y_c^2 y_e}{y_b^2 y_d^2} \end{aligned} \quad (1)$$

이다. 그리고 \pm 기호는 우수모드(+)와 기수 모드(-)에 대한 회로의 특성을 나타낸다.

회로의 대칭성으로 인하여 선로의 폭 b 와 d 가 같을 경우에는 $y_b = y_d$ 이므로 <식 (1)>의 ABCD 매개변수는 다음과 같이 정리할 수 있다.

$$\begin{aligned} A &= 1 - \frac{2y_a y_c}{y_b^2} - \frac{y_c y_e}{y_b^2} + \frac{y_a y_c^2 y_e}{y_b^4} \\ B &= \pm j \left(\frac{2y_c}{y_b^2} - \frac{y_c^2 y_e}{y_b^4} \right) \\ C &= \pm j \left(2y_a + y_e - \frac{2y_a y_c y_e}{y_b^2} - \frac{2y_a^2 y_c}{y_b^2} + \frac{y_a^2 y_c^2 y_e}{y_b^4} \right) \\ D &= 1 - \frac{2y_a y_c}{y_b^2} - \frac{y_c y_e}{y_b^2} + \frac{y_a y_c^2 y_e}{y_b^4} \end{aligned} \quad (2)$$

<식 (2)>는 반사계수(Γ)와 투과계수(T)로 변환할 수 있으며, 그 변환 관계는 다음과 같다.

$$\Gamma_{e,o} = \left(\frac{A+B-C-D}{A+B+C+D} \right)_{e,o} \quad (3)$$

$$T_{e,o} = \left(\frac{2}{A+B+C+D} \right)_{e,o} \quad (4)$$

여기서 $\Gamma_{e,o}$ 와 $T_{e,o}$ 는 우수모드일 때와 기수모드일 때의 반사계수와 투과계수이다.

<식 (3)>와 <식 (4)>로 계산된 반사계수와 투과계수를 각 포트에 전달되는 신호의 형태로 변환하면 다음과 같다. 이들 결합포트에서 신호의 크기는 $\pm 1/2$ 이고, 격리포트에서는 영이므로 브랜치라인의 포트에 따라 전달되는 신호는 다음과 같다.

$$P_1 = \frac{1}{2}\Gamma_e + \frac{1}{2}\Gamma_o \quad (5)$$

$$P_2 = \frac{1}{2}T_e + \frac{1}{2}T_o \quad (6)$$

$$P_3 = \frac{1}{2}T_e - \frac{1}{2}T_o \quad (7)$$

$$P_4 = \frac{1}{2}\Gamma_e - \frac{1}{2}\Gamma_o \quad (8)$$

P_1 과 P_4 는 포트 1과 포트 4에 나타나는 신호로 90° 위상차를 갖는 하이브리드 결합기가 되기 위해서는 포트 2와 3은 정합, 포트 4는 격리되어야 한다. <식 (2)>의 ABCD 행렬에서 파라미터의 특성으로 인하여 $A=D$ 와 $B=C$ 를 만족하면 $\Gamma_{e,o} = 0$ 이 되므로 원하는 하이브리드 결합기의 특성을 얻을 수 있다.

포트 2와 포트 3에 전달되는 신호인 P_2 와 P_3 는 <식 (3)>과 <식 (4)>를 계산한 후에 <식 (2)>의

파라미터 값들을 <식 (6)>와 <식 (7)>에 대입하여 계산할 수 있다. 따라서 각 포트에 전달되는 출력 신호는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$P_1 = 0 \quad (9)$$

$$P_2 = \frac{2y_a y_b^2 y_c + y_a y_c^2 y_e - y_b^4 + y_b^2 y_c y_e}{y_b^4} e^{j0} \quad (10)$$

$$P_3 = \frac{\left(\frac{2y_c}{y_b^2} - \frac{y_c^2 y_e}{y_b^4} \right) e^{-j\frac{\pi}{2}}}{-\left(\frac{2y_c}{y_b^2} - \frac{y_c^2 y_e}{y_b^4} \right)^2 - \left(1 - \frac{2y_a y_c}{y_b^2} - \frac{y_c y_e}{y_b^2} + \frac{y_a y_c^2 y_e}{y_b^4} \right)^2} \quad (11)$$

$$P_4 = 0 \quad (12)$$

위 결과로부터 포트 1의 <식 (9)>는 정합, 포트 4의 <식 (12)>는 격리되었음을 의미하고, <식 (10)>과 <식 (11)>에서 포트 2와 포트 3은 크기는 $\frac{1}{\sqrt{2}}$ 로 동일하고 90° 의 위상차를 가진다. 따라서 입력과 출력 포트의 신호전달을 결정하는 어드미턴스 계수는 다음과 같이 정리할 수 있다.

$$y_a = (2 - y_e \sqrt{2})^{1/2} - 1 \quad (13)$$

$$y_b^2 = y_c (y_a + \sqrt{2} + 1) \quad (14)$$

$$y_e = \frac{1}{\sqrt{2}} (y_a^2 + 2y_a - 1) \quad (15)$$

5단 브랜치라인 결합기 구조에서 포트 2와 포트 3이 반전력인 3dB로 동일하게 결합되는 동시에 90° 의 위상차를 유지하며, 포트 1과 포트 4가 각

각 정합되고 격리되기 위한 각 브랜치라인의 어드미턴스 값은 <식 (13)~(15)>으로부터, $y_b = y_d = \sqrt{2}$, $y_a = 0.27$, $y_c = 0.525$, $y_e = 0.272$ 이 된다.

3. 광대역 브랜치라인 결합기 설계

<그림 2>의 5단 브랜치라인 결합기의 경우, 포트 2와 포트 3에 3 dB 결합이 이루어지고 광대역 특성을 유지하기 위해서는 브랜치라인의 임피던스 값을 효율적으로 설정하는 것이 매우 중요하다. <식 (13)>부터 <식 (15)>를 적용하여 브랜치라인을 여러 단으로 설계할 경우에는 단의 수가 많아질수록 중심 ($y_c = 0.525$)에 위치하는 선로의 임피던스를 기준으로 대칭적으로 설계가 이루어진다. 각 단의 브랜치라인 임피던스는 차례로 185.2Ω ($y_a = 0.27$), 95.24Ω ($y_c = 0.525$), 183.8Ω ($y_e = 0.272$), 35.35Ω ($y_b = y_d$) 이다. 그리고 언급한 임피던스 값에 대한 브랜치라인 선로의 설계제원은 표 1과 같다. 설계에 사용된 기판은 Taconic TLX-9으로 유전율 $\epsilon = 2.5$, 손실 탄젠트 $\delta = 0.0019$, 기판의 높이 $h = 1.57\text{mm}$, 동판의 두께 $t = 35\mu\text{m}$ 이다. 마이크로스트립 선로에서 선로의 임피던스는 기판의 유전율과 기판의 높이, 그리고 선로의 폭에 의해 결정되므로 설계 시 제작이 가능한 범위 내에서 선로의 폭이 결정되도록 기판을 선정하는 것이 중요하다. 특히, 초단의 임피던스 값을 크게 설정할 경우 선로의 폭이 매우 좁아지므로 실제 제작 가능한 범위에서 고려하여야 한다. 여기에서는 185Ω 범위내에서 설계하였으며, 이 때 선로의 폭은 0.18mm 이다.

<그림 3>은 5단 브랜치라인 결합기를 설계하여 제작한 패턴이다. 이 결합기는 이론적 내용을 기반으로 2.6GHz 주파수에서 각 브랜치라인의 임피

던스를 초기 설계 값으로 두고 최적화 시뮬레이션을 하였다.

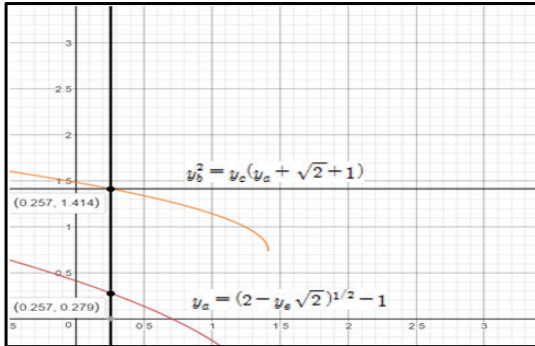


그림2. 5단 브랜치라인 결합기의 어드미턴스 그래프
Figure 2. Admittance graph of five-stage branch line coupler

표 1. 5단 브랜치라인 결합기의 설계 제원
Table 1. Design parameters of five-stage branch line coupler

Param.	Optimized	Param.	Optimized
s	4.3 mm	c	1.38 mm
a	0.18 mm	d	7.4 mm
b	7.4 mm	e	0.18 mm



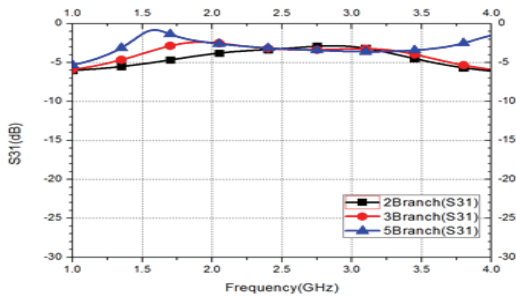
그림 3. 5단 브랜치라인 결합기의 제작 패턴
Figure 3. Fabricated pattern of the coupler with five-stage branch line

4. 결과 및 고찰

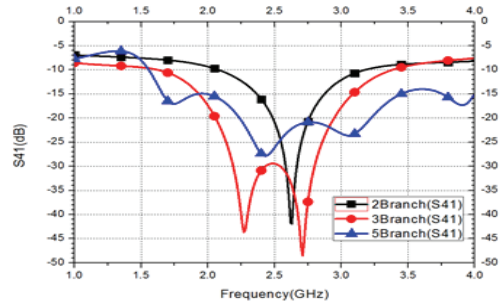
설계 이론을 기반으로 고주파회로 설계틀인 HFSS를 사용하여 광대역 5단 브랜치라인의 결합기

의 시뮬레이션 결과들을 도출하였으며, 그 결과를 이론적인 결과와 비교하여 그 특성을 분석하였다. 브랜치라인 결합기는 각 브랜치라인의 임피던스 조건에 따라 결합되는 양이 달라지므로 3 dB로 결합되기 위해서는 원하는 임피던스로 선로의 폭을 설정하여야 한다. 이 결합기의 전달 특성은 각 출력포트에서 동일한 반전력의 신호 에너지와 출력 포트 간의 위상차를 90°로 유지하여야 한다.

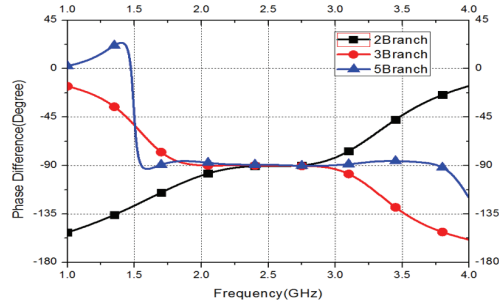
<그림 4>는 마이크로스트립 브랜치라인 결합기의 사용 가능한 대역 특성을 파악하기 위하여 2단, 3단, 그리고 5단으로 구성하여 시뮬레이션한 결과를 나타낸 그래프이다. <그림 4(a)>와 <그림 4(b)>는 출력포트 3과 격리포트인 4의 S-파라미터 특성 그래프이고, <그림 4(c)>는 출력포트 간의 위상차를 나타내었다. 전달특성인 S31(dB)는 브랜치라인이 증가함에 따라 비대역폭과 90° 하이브리드 위상차의 범위가 약 10 % 정도씩 증가하고 있음을 알 수 있다. 특히 5단 결합기의 경우에 반사손실 15 dB와 위상오차 1° 기준에서 비대역폭이 50 % 이상으로 나타나, 일반적인 결합기의 30%의 비대역폭보다 20 % 정도 더 넓은 광대역 특성을 갖는다.



(a)



(b)



(c)

그림 4. 다단 결합기 간의 시뮬레이션 결과 비교 (a) S31, (b) S41, (c) 위상차

Figure 4. Simulation result comparison between multi-stage couplers (a) S31, (b) S41, (c) phase differences

<그림 5>는 입력포트 1에 신호를 인가하였을 때 나타나는 5단 브랜치라인의 시뮬레이션 결과와 측정된 결과에 대한 산란 파라미터를 나타낸 것이다. 이 결합기는 신호를 결

합하고 연결하는 버틀러 매트릭스에 사용되는 회로이기 때문에 급전신호를 반전력으로 나누어 동일한 크기로 출력포트에 전달할 수 있도록 반사 신호인 S_{11} 과 격리신호인 S_{41} 의 크기가 -15dB 이 하인 주파수 대역을 대역폭으로 설정하였다.

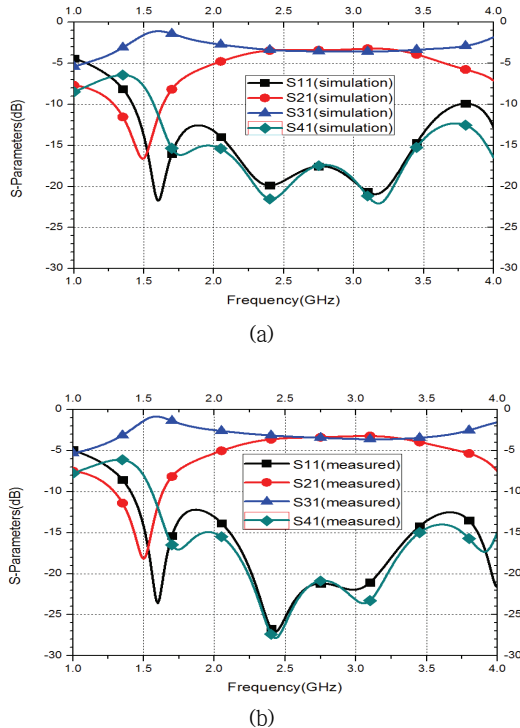


그림 5. 5단 브랜치라인 결합기의 S-파라미터 특성 (a) 시뮬레이션 결과, (b) 측정 결과

Figure 5. S-parameter characteristics of hybrid coupler with five-stage branch line (a) simulation results, (b) measured results

<그림 5>에서 5단 하이브리드 브랜치라인 결합기의 동작대역은 2.15 GHz ~ 3.4 GHz로 약 47%의 비대역폭을 갖는다. 대역 내에서 전송 특성인 S_{21} 은 3.3 ± 0.5 dB보다 작은 값으로 좋은 삽입손실을 보였으며, S_{31} 또한 3.5 ± 0.5 dB로 반전력에 근접한 값을 갖는다. 결합 포트의 전달전력인 S_{21} 과 S_{31} 간의 차이는 약 0.2 dB 이내로 양호하게 나타났다. 그리고 시뮬레이션 결과와 측정 결과를 살펴보면 동작 주파수 범위가 거의 동일하며, 포트 간 격리 S_{41} 와 반사손실 S_{11} 도 비슷한 값으로 나타나므로 이 결합기는 광대역 특성을 만족한다.

5. 결론

본 논문에서는 MIMO 시스템의 빔성형 네트워크에 필수 구성품인 결합기를 마이크로스트립 기판에 다단 브랜치라인 구조로 설계하였으며, 해석상의 접근법을 단지 세로로 놓인 브랜치라인의 폭만을 변수로 설정하여 설계 과정을 단순화하였다. 또한 넓은 주파수 대역에서 반전력 분배 특성과 광대역 특성을 얻을 수 있도록 성능을 개선시켰다. 특히 브랜치라인의 이론적인 구성 방법과 형태를 고안하여 하이브리드 결합기로써 적용할 수 있도록 5단 브랜치라인 구조로 설계하여 47%의 비대역과 위상오차가 1° 이내인 초광대역 결합기 특성을 얻었으며, 마이크로스트립 배치에서 나타나는 설계상의 구조적 문제점을 해결하였다. 또한 이론적인 설계방법을 토대로 입력 조건에 따라 나타나는 출력 결과와 위상천이 관계를 세밀히 파악하여 시뮬레이션 결과를 도출하고 각 각의 결과들을 비교하고 분석하였다.

References

- [1] J. Butler, and R. Lowe, *Beamforming matrix simplifies design of electrically scanned antennas*, Electronics Design 9, pp. 170-173, 1961.
- [2] H. Nachouane, A. Najid, A. Tribak, and F. Riouch, *Broadband 4x4 butler matrix using wideband 90° hybrid couplers and crossovers for beamforming networks*, 2014 International Conference on Multimedia Computing and Systems, pp. 1444-1448, Apr. 2014.
- [3] R. E. Collin, *Foundations for microwave engineering*, McGRAW- HILL, Inc. pp. 488-490, 1992.
- [4] D. M. Pozar, *Microwave engineering*, John Wiley & Sons, Inc., Second Edition, pp.

- 379-383, 1998.
- [5] D-H. Lee, and D-Y. Yang, *Design and implementation of slot-coupled microstrip components for wideband butler matrix*, Journal of Knowledge Information Technology and Systems, Vol. 12, No. 4, pp. 571-580, 2017.
- [6] D-H. Lee, and D-Y. Yang, *Implementation of slot-coupled broadband butler matrix based on multiple layered microstrip transmission line*, Journal of Knowledge Information Technology and Systems, Vol. 12, No. 4, pp. 581-590, 2017.
- [7] H. C. Chen, and C. Y. Chang, *Modified vertically installed ultrabroadband multisection quadrature hybrid*, IEEE Microwave and Wireless Components Letters, Vol. 16, No. 8, pp. 446-448, Aug. 2006.
- [8] H. Kim, H. Wi, S. Wang, J Kim, and W. Jung, *Broadband 3dB microstrip hybrid coupler with low dielectric substrate for X-band applications*, IEEE 17th Annual Wireless and Microwave Technology Conference, 2016.
- [9] S. C. Jung, R. Negra, and F. M. Ghannouchi, *A miniaturized double stage 3dB broadband branch line hybrid coupler using distributed capacitors*, 2009 Asia Microwave Conference, pp. 1323-1326, 2009.
- [10] K. Ding, and A. Kishk, *Wideband hybrid coupler with electrically switchable phase difference performance*, IEEE Microwave and Wireless Components Letters, Vol. 27, No. 11, pp. 992-994, Nov. 2017.
- [11] J. M. Wen, S. H. Wang, and S. Y. Zheng, *An arbitrary phase difference hybrid coupler with enhanced bandwidth*, International Applied Computational Electromagnetics Society Symposium China, 2018.

다단 브랜치라인으로 구성된 광대역 결합기 설계 및 구현

양두영

제주대학교 통신공학과 교수

요 약

브랜치라인 결합기를 설계함에 있어서, 출력 포트에서의 신호 결합량은 브랜치라인을 구성하는 각 라인의 임피던스에 의해 결정되므로 각 라인의 임피던스를 설정하는 것이 매우 중요하다. 입력단과 출력단 사이의 결합계수는 다단 브랜치라인 구조에서 선로의 임피던스 조건에 의해 결정되므로 짝수-홀수 모드 회로 분석을 적용하면 원하는 결합계수를 얻기 위한 각 선로의 임피던스를 구할 수 있다. 본 논문에서는 다단으로 구성된 마이크로스트립 브랜치라인 구조체를 만들고, 신호전송을 위해 서로 연결되는 회로 선로의 형태를 반전력 분배되도록 하이브리드 결합구조를 이용하였다. 그리고 동작 범위 내에서 위상 오차를 줄일 수 있도록 선로의 임피던스 폭과 길이를 최적화함으로써 광대역 특성을 얻었다. 제작된 하이브리드 브랜치라인 결합기의 동작 주파수 대역은 2.15 GHz ~ 3.4 GHz이며, 비대역폭은 약 47 % 이다. 이 대역에서 출력 포트 간의 전송 특성 및 위상차는 3.3 ± 0.5 dB 및 $90 \pm 1^\circ$ 미만이다. 그리고 우수한 삽입손실, 반전력 그리고 광대역 특성을 보인다.



Doo Yeong Yang received the B.S. degree in telecommunication engineering from Jeju National University, Korea in 1984, and M.S., Ph.D. degrees in electrical and

telecommunication engineering from Hanyang University, Korea in 1989, 1992 respectively. Since 1992, he has been a professor in telecommunication engineering of Jeju National University in Korea. His current research interests include RF devices, microwave circuits, wireless and satellite communication systems.

E-mail address: yeongyd@jejunu.ac.kr