

논문 2013-50-2-7

# 단락 스텐브를 이용한 이중대역용 브랜치 라인 커플러의 설계

## (Dual-Band Branch-Line Coupler Using Shorted Stubs)

김종성\*

(Jong-Sung Kim)

### 요약

이중대역에서 동작하는 브랜치 라인 커플러를 나타낸다. 새로운 설계 구조에서는 단락 스텐브가 병렬로 추가된 전송선로가 2개의 주파수에서  $90^\circ$ 의 위상 천이를 구현하기 위하여 사용된다. 제안하는 브랜치 라인의 특성 임피던스와 전기적 길이는 종래의 구조와 비교하여 조정된다. ABCD 행렬 파라미터를 이용하여 설계 방정식을 유도하였다. 설계 개념을 검증하기 위하여 0.8 GHz 및 1.85 GHz에서 동작하는 마이크로스트립 커플러를 제작하고 측정하였다.

### Abstract

This letter presents a shorted-stub tapped branch-line coupler for dual-band applications. In the new design, a shorted stub is used to realize  $90^\circ$  phase change at two frequencies. Closed-form design equations are derived to find the characteristic impedance and electrical length of the proposed branch lines using the ABCD-matrix. To verify the design concept, a microstrip coupler operating at 0.8 and 1.85 GHz is fabricated and measured.

**Keywords :** Branch-line coupler, Dual-band

## I. 서론

최근의 통신 시스템은 수동소자에 대하여 소형, 광대역 및 다중 대역과 같은 새로운 요구조건을 요구하고 있다. 수동소자 중에서 브랜치라인 커플러는 초고주파 시스템에서 가장 기본적인 회로 요소중의 하나이다. 이는  $1/4$  파장 길이의 전송선로를 이용한 4-포트 소자로서 이의 동작은 단일 주파수에 국한된다<sup>[1]</sup>. 이를 이중대역 그 동작 특성을 만족하기 위하여 많은 연구가 이루어지고 있다. [2]에서는 기존의 브랜치 라인 구조 내부에 cross-coupling 전송선로를 삽입하여 이중대역에서 동작이 가능하도록 설계하였다. [3]에서는 브랜치 라인

의 길이비가 정수배인 경우에 대한 이중대역 동작에 대한 설계방법을 제시하였다. 브랜치 라인에 스텐브를 추가하는 방식이 많이 연구되었는데 추가되는 위치는 입력과 브랜치 라인의 중앙이 대표적이다. [4]에서는 브랜치 라인의 포트측에 스텐브를 추가하여 이중대역 특성을 구현하였다. [5]에서는 브랜치 라인의 중앙에 스텐브를 추가하여 이중대역 동작을 구현하는 방법을 나타내었다. 여기에서는 개방형 스텐브를 브랜치 라인의 중앙에 부착하고 이중대역을 만족하기 위한 설계 파라미터를 구하였다. 그러나 이를 만족하기 위한 개방형 스텐브의 길이가 길어서 상용화의 제한을 갖는다. 또한 각 영역의 특성 임피던스와 전기적 길이에 대한 설계 방정식을 제시하지 않고, 일부 최적화에 의한 방법을 사용하므로 많은 필드 시뮬레이션을 필요로 한다.

이 논문에서는 이중대역 브랜치 라인 커플러로서 [5]의 개방형 스텐브와 달리 단락 스텐브를 추가에 의하여 이루어진다. 또한 커플러의 설계방법을 구하기 위해서

\* 정회원, 경성대학교 정보통신공학과  
(Department of Information and Communication Engineering, KyungSung University)

※ “이 논문은 2012학년도 경성대학교 학술연구비지원에 의하여 연구되었음”

접수일자: 2012년11월5일, 수정완료일: 2013년1월26일

제안한 브랜치 라인 커플러의 전송(ABCD) 행렬을 해석하여 설계 공식을 구한다. 2중대역의 주파수비에 따른 설계 파라미터의 경향을 구하였다. 또한 개방형 스테르브와 단락 스테르브에 의한 설계의 특성, 그 중에서 대역폭에 대한 특성 비교를 해보았다.

이 설계 방법을 검증하기 위하여 마이크로스트립 구조를 이용하여 구현하였다. 0.8 GHz 와 1.85 GHz에서 작동하도록 설계하였다. 측정결과는 제안구조가 이중대역에서 동작함을 확인하였다.

## II. 회로구조

그림 1에는 제안하는 이중대역 커플러를 나타내었다. 기존의 브랜치 라인 커플러에서 이 구조의 핵심은 종래의 1/4 파장 길이의 브랜치 라인을 2개의 다른 주파수에서 원하는 특성을 나타내는 부분으로 대체하는 것이다.

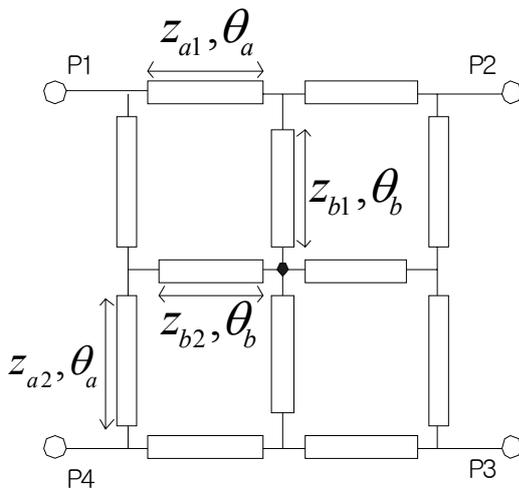


그림 1. 제안하는 브랜치 라인 커플러  
Fig. 1. The proposed branch-line coupler.

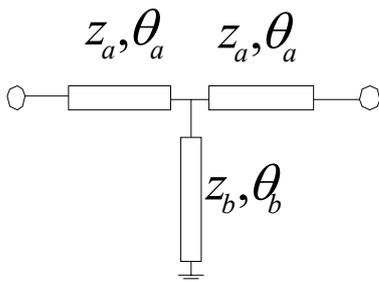


그림 2. 제안하는 T 형 구조  
Fig. 2. The proposed T-shaped structure.

그림 2에는 기존의 브랜치 라인 커플러에서 1/4 파장 길이를 갖는 브랜치를 대체하는 T 형 구조의 브랜치 라인을 나타내었다. 이는  $Z_a$ 의 특성 임피던스와  $2\theta_a$  길이의 전송선로의 중앙에  $Z_b$  및  $\theta_b$ 의 특성 임피던스와 전기적 길이를 갖는 단락 스테르브가 병렬로 연결되어 있다. 이를 이중대역에서 동작하기 위한 설계 방정식을 구하기 위하여 ABCD 행렬식을 사용한다. 그림 2의 구조는 3개의 다른 섹션이 T 구조로 연결된 형태이며 이의 전체적인 특성은 다음의 ABCD 행렬로 나타낼 수 있다.

$$\begin{bmatrix} A_T & B_T \\ C_T & D_T \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta_a & jZ_a \sin\theta_a \\ jY_a \sin\theta_a & \cos\theta_a \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -jY_b \cot\theta_b & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos\theta_a & jZ_a \sin\theta_a \\ jY_a \sin\theta_a & \cos\theta_a \end{bmatrix} \quad (1)$$

(1)의 ABCD 행렬의 각 요소는 다음과 같다.

$$A_T = D_T = \cos^2\theta_a - \sin^2\theta_a + \frac{Z_a \sin\theta_a \cos\theta_a}{Z_b \tan\theta_b} \quad (1a)$$

$$B_T = j2Z_a \sin\theta_a \cos\theta_a + j\frac{Z_a^2 \sin^2\theta_a}{Z_b \tan\theta_b} \quad (1b)$$

$$C_T = j2Y_a \sin\theta_a \cos\theta_a - jY_b \frac{\cos^2\theta_a}{\tan\theta_b} \quad (1c)$$

T 형의 제안하는 구조가 1/4 파장길이의 전송선로가 되기 위하여 이 구조의 ABCD 행렬은 기존의 1/4 파장 길이와 동가이므로 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} A_T & B_T \\ C_T & D_T \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & \pm jZ_c \\ \pm jY_c & 0 \end{bmatrix} \quad (2)$$

여기에서  $Z_c$ 는 기존의 1/4 파장 전송선로의 특성 임피던스이다.  $A_T=D_T=0$ 의 조건을 (1a)에 적용하여 다음의 관계를 얻는다.

$$\tan\theta_b = -\frac{Z_a \sin\theta_a \cos\theta_a}{Z_b (\cos^2\theta_a - \sin^2\theta_a)} \quad (3)$$

(3)을 (1b) 및 (1c)에 대입하여 T 구조 브랜치의 ABCD 행렬은 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} 0 & jZ_a \tan \theta_a \\ jY_b \cot \theta_a & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & \pm jZ_c \\ \pm jY_c & 0 \end{bmatrix} \quad (4)$$

이중대역 동작을 위해서 (4)에서 암시되는 조건은 다음과 같다.

$$Z_c = \pm Z_a \tan \theta_a \quad (5)$$

여기에서 직렬 전송로의 전기적 길이인  $\theta_a$  는 이중대역인 2개의 주파수중 첫 번째 주파수에서 식(5)의 관계를 만족하는 2개의 전기적 길이는  $\theta_{a1}$  과  $\theta_{a2}$  이며 이들간의 관계는 다음과 같다.

$$\theta_{a2} = n\pi \pm \theta_{a1} \quad (6)$$

여기에서  $n=1,2,3$  이고 다음의 관계식이 얻어진다.

$$\frac{\theta_{a1}}{\theta_{a2}} = \frac{f_1}{f_2} \quad (7)$$

(6)을 다시 나타내면 다음의 관계가 얻어진다.

$$\theta_{a0} = \theta_{a1} \pm \theta_{a2} = n\pi \quad (8)$$

(7)-(8)로부터 이중 대역중에서  $f_i$  주파수에서의 직렬 전송로의 전기적 길이는 다음과 같다.

$$\theta_{a1} = \frac{\pi}{1 + f_2/f_1} \quad (9)$$

직렬 스테르브와 동일한 과정을 따라서 병렬 스테르브의 전기적 길이를 계산할 수 있다. (6)의 관계를 (3)에 대입하면 다음의 관계를 얻을 수 있다.

$$\tan \theta_{b1} = \pm \tan \theta_{b2} \quad (10)$$

여기에서  $\theta_{b1}$  과  $\theta_{b2}$  는 1차 동작 주파수에서 (10)의 관계를 만족하는 단락 스테르브의 전기적 길이이며 다음과 같은 관계가 성립한다.

$$\theta_{b0} = \theta_{b1} \pm \theta_{b2} = m\pi \quad (11)$$

여기에서  $m$  은 1 이상의 정수이다. 이는 (8)과 같으므로 병렬 전송로의 길이는 아래와 같이 직렬 스테르브의 전기적 길이와 동일하다.

$$\theta_b = \theta_a \quad (12)$$

이를 (3)에 적용하면 병렬 스테르브의 특성 임피던스를

다음과 같이 구할 수 있다.

$$Z_b = \pm Z_c / (\tan \theta_a (\tan^2 \theta_a - 1)) \quad (13)$$

위의 유도과정에서 이중대역에서 동작하는 브랜치라인 커플러의 설계과정을 요약하면 다음과 같다.

첫째, 이중대역 주파수의 비율관계로부터 직렬 전송로의 전기적 길이를 식 (9)로부터 구할 수 있다.

둘째, 직렬 전송로의 특성 임피던스는 식 (5)로부터 얻을 수 있다.

셋째, 병렬로 연결된 단락 스테르브의 전기적 길이는 식 (12)와 같이 직렬 전송로의 전기적 길이와 동일하다.

넷째, 병렬 스테르브의 특성 임피던스는 식 (13)으로부터 구할 수 있다.

이에 비하여 [3]의 개방형 스테르브를 이용한 설계과정의 결과는 다음과 같다.

$$Z_b = \frac{Z_c \tan^2 2\theta_a}{2 \tan \theta_a} \quad (14)$$

$$\theta_b = 2\theta_a \quad (15)$$

직렬 전송로의 특성은 스테르브의 종류에 관계없이 동일하다. 여기에서 개방형 스테르브의 전기적 길이는 단락 스테르브에 비하여 2배의 길이를 갖는다. 개방 스테르브를 이용하는 [5]에서는 식 (14)-(15)을 나타내지 않고 설계과정에서 일부 최적화 방식을 이용하였다.

### III. 특성비교

그림 3에는 이중대역의 2개의 주파수의 비( $f_2/f_1$ )에 따라서 직렬 전송로와 병렬 스테르브의 특성 임피던스 관계를 나타내었다. 직렬 전송선의 특성 임피던스는 주파수 비가 1.2에서 2.8 배까지 증가시에 0.2에서 0.9의 범위로 완만하게 증가한다. 반면에 병렬 스테르브의 특성 임피던스  $Z_b$  는 0 근처의 작은 값에서 5 까지의 값을 나타내어 큰 편차를 갖는다. 10 Ω 에서 120 Ω 까지 가 구현 가능한 값으로 생각할 경우 주파수비가 1.9 배에서 2.6 배까지의 범위에서 그림 1의 구조에서 제시한 단락 스테르브 구조를 사용할 수 있다. [5]에서 제안한 개방형 스테르브의 특성 임피던스는 식 (14)를 이용하여 그림 3에 함께 나타내었다. 동일한 이중대역 주파수비의 범위에 대해서 0 근처에서 시작해서 단락 스테르브의 경우 보다

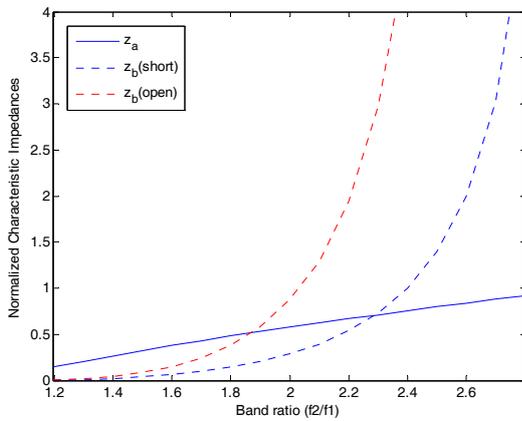
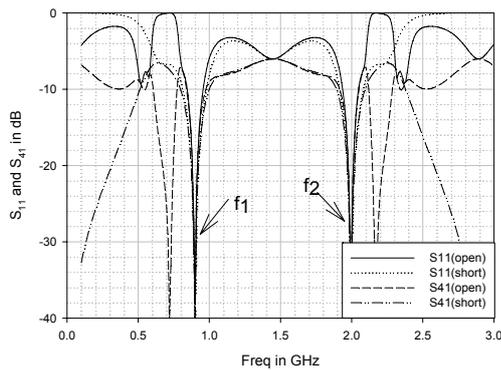
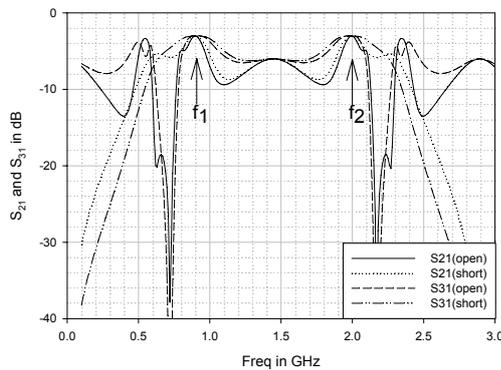


그림 3. 동작 주파수 비율 변화에 따른 전송선로의 정규화 특성 임피던스 변화

Fig. 3. Normalized characteristic impedances of the branch-line coupler vs. band ratio.



(a)



(b)

그림 4. 이중대역 브랜치 라인 커플러의 계산 결과 (a) S11 및 S41, (b) S21 및 S31

Fig. 4. Simulation results of the proposed dual-band coupler (a) S11 and S41, (b) S21 and S31.

급격히 증가함을 알 수 있다. 대략 1.5 배에서 2.3 배의 범위에서 사용이 가능하다. 결론적으로 주파수비가 낮은 경우에는 개방 스테르브를 이용하고, 주파수비가 높은 영역에서는 단락 스테르브를 이용하는 것이 효과적이다.

그림 4에는 0.9 GHz 와 2.0 GHz 의 2개의 주파수에서 사용이 가능한 브랜치 라인 커플러의 S-파라미터를 회로 시뮬레이션을 이용하여 구하였다. 이 2개의 주파수는 [5]에서도 이용한 주파수에 해당한다. 35.4 Ω 라인의 경우 직렬 전송로의 특성 임피던스는 24 Ω이고 단락 스테르브의 특성 임피던스는 20.4 Ω, 개방 스테르브의 경우는 75.5 Ω 을 앞의 설계식 (13)과 (14)로 부터 구할 수 있다.

그림 4(a)에는 반사계수(S11) 및 아이슬레이션(S41)을 나타내었다. 10 dB 의 S11 을 기준으로 대역폭은 개방 스테르브의 경우 0.9 GHz에서 13.3 %, 2.0 GHz 에 대해서 6 % 인 반면에 단락 스테르브의 경우에는 0.9 GHz에서 18.9 %, 2.0 GHz에서 9 % 의 대역폭으로 이중대역 모두 단락 스테르브를 이용시에 대역폭이 더 증가한다. 아이슬레이션(S41) 에 대해서도 마찬가지이다. 그림 4(b)는 브랜치 라인 커플러의 출력을 나타낸 것으로 대역폭 특성에 있어서 단락 스테르브를 이용한 구조가 개방 스테르브의 경우보다 더 우수함이 명백하다. 이러한 특성을 나타내는 이유는 S21 및 S31 에 있어서 개방스테르브를 이용하면 0.7 GHz 와 2.2 GHz 근처에서 전송이 차단되는 특성이 그림 4(b) 에 나타나 있다. 이는 개방 스테르브의 길이가 이 주파수에서 T 구조의 회로의 병렬의 분기점에서 단락의 값을 가져서 신호의 전송이 차단되기 때문이다.

그림 4의 S-파라미터의 계산 결과의 비교로부터 그림 3에 나타낸 바와 같이 대역비가 낮은 영역을 제외하고는 단락 스테르브를 이용하는 것이 대역폭 및 소형화 관점에서 우수한 특성을 나타내었다.

#### IV. 실험 및 측정결과

기존 커플러의 4개의 브랜치 라인을 제안하는 구조로 대체하여 설계하는 방안을 제시하였으며, [5]와의 차이점을 서로 비교하여 보았다. 이론적인 해석을 검증하기 위하여 마이크로스트립 커플러를 이 방식으로 설계하였다. 이 커플러의 초기 파라미터는 앞장에서 유도한 방정식에 의하여 구한다. 이중대역은 0.8 GHz 와 1.85 GHz 의 2개



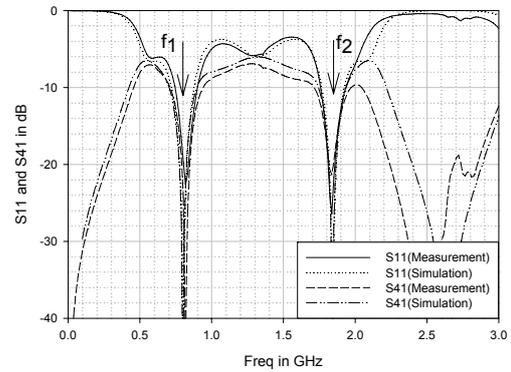
그림 5. 제안하는 브랜치 라인 커플러의 제작 사진  
 Fig. 5. Photograph of the Fabricated branch-line coupler.

의 주파수를 선택하였다. 실제로 마이크로스트립 라인을 이용한 이중대역 커플러의 구현은 그림 3에 나타난 바와 같이 20 Ω 에서 120 Ω 사이의 값이 구현가능한 범위로 제한이 된다. 단락 스테르브의 특성 임피던스가 구현 가능한 주파수비의 범위는 1.6 에서 2.5 까지 구현가능하다.

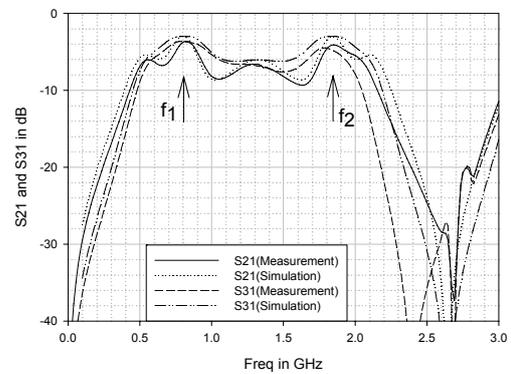
II장에서 유도한 수식을 이용하여 35.4 Ω 브랜치는  $Z_a=25.2 \Omega$ ,  $Z_b=25.9 \Omega$  이다. 50 Ω 브랜치는  $Z_a=35.6 \Omega$ ,  $Z_b=36.6 \Omega$  이다. 또한  $\theta_a$  및  $\theta_b$  의 식(9)에 의하여 전기적 길이는  $54.5^\circ$  이다. 그림 5에는 마이크로스트립 라인을 이용하여 0.8 GHz와 1.85 GHz의 2개의 주파수에서 동작하는 브랜치 라인 커플러의 구현된 형태를 나타내었다. FR 기판을 이용하였으며 유전율은 4.4 이고 두께는 0.8 mm 이다.

회로망 분석기를 이용한 S-파라미터 측정결과를 그림 6에 나타내었다. 반사계수와 격리도는 그림 6(a)에 나타난 바와 같이 0.81 GHz 에서는 -22.5 dB, 1.84 GHz 에서는 -26.4 dB 를 나타내었다. 삽입손실의 크기는 그림 6(b)에 나타내었는데 0.81 GHz 에서  $S_{21}=-3.62 \text{ dB}$ ,  $S_{31}=-3.67 \text{ dB}$ , 1.84 GHz 에서는  $S_{21}=-4.1 \text{ dB}$ ,  $S_{31}=-4.5 \text{ dB}$  이다. 그림 4(a)의  $S_{11}$  값으로부터 2개 대역에 대한 10 dB 대역폭 측정값은 0.81 GHz 에서는 21.3 %, 1.84 GHz 에서는 9.7 % 인데 비하여, 계산결과는 0.81 GHz 에서는 20.2 %, 1.84 GHz 에서는 9.24 % 를 나타내었다. 이는 앞장의 0.9/2.0 GHz 이중대역 커플러보다 약 1 % 내외 증가한 값이다.

그림 6(c)는 제안 커플러의 위상응답을 나타내었다. 포트2와 포트3 사이의 위상차는 0.81 GHz에서  $-89.1^\circ$  이고, 1.84 GHz에서  $-267.7^\circ$ 이다. 그림 6의 측정 결과는



(a)



(b)

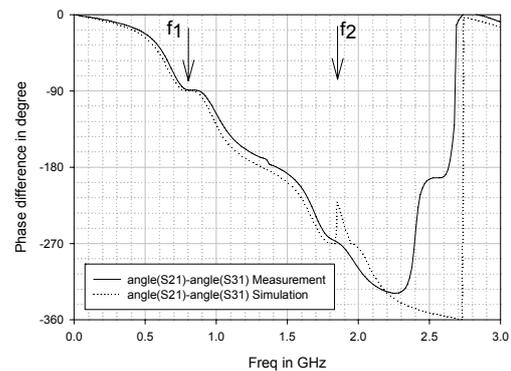


그림 6. 이중대역 브랜치 라인 커플러의 측정 결과  
 Fig. 6. Measurement results of the fabricated dual-band coupler (a)  $S_{11}$  and  $S_{41}$ , (b)  $S_{21}$  and  $S_{31}$ .

전체적으로 시뮬레이션으로 계산한 결과와 비슷한 경향을 나타내었다. 최종적으로 설계한 커플러의 대역폭은 동일 크기  $90^\circ$  위상차를 나타내어 하이브리드 커플러로서 2개의 동작주파수에서 정상적으로 동작함을 확인하였다.

## V. 결 론

단락 스테르브를 브랜치 라인의 중앙에 연결하고 이중대역에서 동작하는 브랜치 라인 커플러를 설계하였다. 설계 방정식은 ABCD 행렬을 이용하여 유도하였다. 마이크로스트립 구조를 이용하여 주파수비에 따른 전송선로와 스테르브의 특성 임피던스를 구하고 이를 개방형 스테르브를 이용하는 경우와 비교하였다. [5]에서 제시한 개방형 스테르브에 비하여 단락 스테르브를 이용하는 경우, 스테르브의 길이가 1/2로 감소하고 또한 대역폭이 증가하는 장점을 갖는다. 검증을 위하여 0.8 GHz 와 1.85 GHz에서 동작하는 마이크로스트립 구조의 브랜치 라인 커플러를 제작하였다. 측정결과는 제안하는 구조가 이중대역에서 정상적으로 동작함을 나타내었다.

## 참 고 문 헌

- [1] D. M. Pozar, *Microwave Engineering*, 2nd ed. New York: Wiley, 1998.
- [2] M.-J. Park and B. Lee, "Dual-band, cross coupled branch line coupler," *IEEE Microw. Wireless Compon. Lett.*, vol. 15, no. 10, pp. 655 - 657, Oct. 2005.
- [3] F.-L. Wong and K.-K. M. Cheng, "A novel planar branch-line coupler design for dual-band applications," in *IEEE MTT-S Int. Microw. Symp. Dig.*, vol. 2, pp. 903 - 906, Jun. 2004.
- [4] K. K. M. Cheng and F. L. Wong, "A Novel Approach to the Design and Implementation of Dual-Band Compact 90° Branch-Line Coupler," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Vol. 52, no. 11, pp. 2458-2463, Nov., 2004.
- [5] H. Hualiang and K. J. Chen, "A Stub Tapped Branch-Line Coupler for Dual-Band Operations," *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, Vol. 17, No. 2, pp. 106-108, Feb., 2007.

## 저 자 소 개



김 종 성(정회원)-교신저자  
1988년 경북대학교 전자공학과  
학사 졸업.  
1990년 한국과학기술원 전기 및  
전자공학과 석사 졸업.  
2001년 포항공과대학교 전자전기  
공학과 박사 졸업  
1990년~2002년 KT 연구개발본부 선임연구원  
2004년~현재 경성대학교 정보통신공학과  
부교수.  
<주관심분야 : 초고주파공학, 전자파 수치해석>