

Open-PI 형 등가 전송선로를 적용한 Quadrature 하이브리드 커플러 설계

A Design of Quadrature Hybrid Coupler Apply Open-PI Equivalent Transmission Line

김 군 태, 장 세 옥, 김 형 석*

(Koon-Tae Kim, Se-Wook Jang and Hyeong-Seok Kim*)

Abstract : In this paper, Designed Quadrature hybrid coupler apply Open-PI equivalent transmission line. Using the proposed structure we achieve significant size reduction with the same results of conventional quadrature hybrid coupler at 912MHz. The measured frequency responses agree well with simulated one.

Keywords: Quadrature Hybrid, Coupler, Open-PI equivalent transmission line, reduced size.

I. 서론

현재의 정보 통신과 이동 통신 분야의 급격한 발전과 더불어 사용자의 욕구 충족과 편리를 위하여 다양한 통신 서비스와 송·수신 시스템에서 Quadrature 하이브리드 커플러는 입력 신호를 두 출력 경로로 나누면서 일정한 위상차(90°)를 갖도록 해주는 회로이다. 전력분배기로서도 사용되지만, 대부분 상위 수준의 회로나 시스템에 필수 구성요소로서 더욱 널리 사용된다. 특히 두 출력간의 고유한 위상차로 인하여 안테나 시스템, 고출력증폭기 및 선형화 시스템 등 매우 폭넓게 응용되고 있다[1][2].

또한 통신 시스템의 저가격화, 초소형화 및 복합기능의 필요성은 이제 당면한 과제가 되었고, 이와 같은 과제들의 돌파구를 찾기 위해 여러 가지 방안들이 연구되고 있다. 그 중에서도 마이크로스트립 라인을 이용한 λ/4 Quadrature 하이브리드 커플러, λ/4 평행 선로 결합기, λ/4 링-하이브리드 방향성 결합기 등은 낮은 주파수 대역에서의 일반적인 3dB 방향성 결합기는 물리적인 크기가 너무 큰 단점을 가지고 있다[3][4].

따라서, 본 논문은 λ/4 Quadrature 하이브리드 커플러에 Open-PI형 등가 전송선로를 적용하여 가장 최소의 크기로 줄이면서 MOM과 FEM해석 시뮬레이션 비교, 분석을 통해서 설계의 정확성을 높이고, 측정 결과와의 비교를 통해서 기본 특성을 유지 하도록 설계하고자 한다.

II. 본론

1. 설계이론

마이크로스트립 라인을 이용한 λ/4 Quadrature 하이브리드 커플러의 기본 구조를 그림 1에 나타내었다. Quadrature 하이브리드 커플러는 입력신호를 두 출력으로 나누면서 두 출력이 90° 위상차를 갖는다. 이를 [S]형렬로 나타내면 식 1과 같다. 식 1을 보면 어떤 포트가 입력이 되더라도 선로의 대

칭으로 입력의 반대가 출력이 되고 90° 위상차가 나타나는 것을 알 수 있다. 정규화 된 임피던스 Z₀를 50Ω으로 하면 그림 1의 Z₁는 35.35Ω, Z₂는 50Ω이 된다[5].

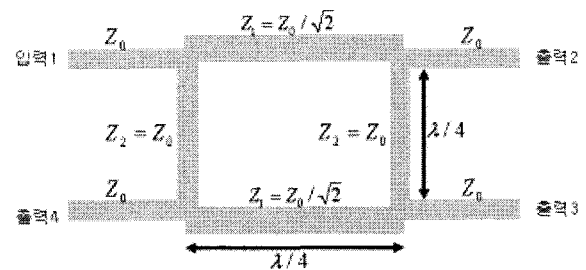


그림 1. 기본 Quadrature 하이브리드 커플러
Fig. 1. Conventional Quadrature Hybrid Coupler

$$[S] = \frac{-1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 0 & j & 1 & 0 \\ j & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & j \\ 0 & 1 & j & 0 \end{bmatrix} \quad (1)$$

그림 2는 임피던스 Z와 θ의 길이를 가지는 선로를 Open-PI형 등가 전송선로로 변형된 것을 보여주고 있다. 변형된 Open-PI형 등가 전송선로는 임피던스 Z_m와 θ_m을 갖는 중심 선로와 양쪽에 임피던스 Z_s와 θ_s를 갖는 Open 선로로 구성된다.

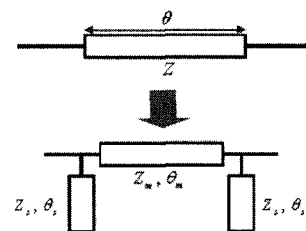


그림 2. Open-PI형 등가 전송선로를 적용한 λ/4 전송선로
Fig. 2. λ/4 Transmission line apply Open-PI equivalent transmission line

* 책임저자(Corresponding Author)

김군태, 장세옥 : 중앙대학교 전자전기공학부 석사과정
(andorr@naver.com, sewook1004@nate.com)

* 김형석 : 중앙대학교 전자전기공학부 교수 (kimcaf2@cau.ac.kr)

※ 본 연구는 2008년 중소기업 산학 지원사업의 지원에 의해 수행되었음.

변형 전과 변형 후의 두 전송선로를 [ABCD]행렬식으로 나타내면 변형 전의 기본 $\lambda/4$ 전송선로는 식 2와 같고 변형 후의 Open-PI형 등가 전송선로는 식 3과 같이 나타낼 수 있다. 이 두 전송선로를 같다고 가정하고 Open-PI형 등가 전송선로의 중심선로와 가지선로의 임피던스를 계산하면 식 4와 같이 구할 수 있다[6].

$$T_1 = \begin{bmatrix} \cos \theta & jZ \sin \theta \\ jY \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$T_2 = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ jY_s \tan \theta_s & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \theta_m & jZ_m \sin \theta_m \\ jY_m \sin \theta_m & \cos \theta_m \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ jY_s \tan \theta_s & 1 \end{bmatrix}$$

$$Z_m = \frac{Z \sin \theta}{\sin \theta_m} \quad (4)$$

$$Z_s = \frac{Z \sin \theta \tan \theta_s}{\cos \theta_m - \cos \theta} \quad (5)$$

서로 다른 임피던스의 전송선로가 연결되어 있을 경우일 때에도 그림 3과 같이 Open-PI형 등가 전송선로로 변형이 가능하다.

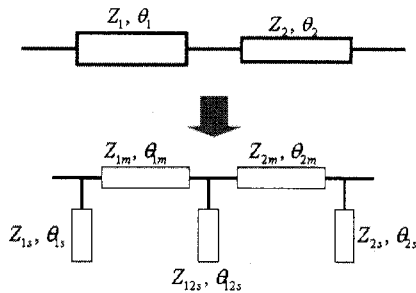


그림 3. Open-PI형 등가 전송선로를 적용한 서로 다른 임피던스 연결선로

Fig. 3. Different Impedence connect line apply Open-PI equivalent transmission line

서로 다른 임피던스의 전송선로가 연결될 때에도 식 3, 4의 방법을 이용하여 [ABCD]행렬식이 같다고 하여 연결선로의 임피던스는 식 6~10와 같이 구할 수 있다[6].

$$Z_{1m} = \frac{Z_1 \sin \theta_1}{\sin \theta_{1m}} \quad (6)$$

$$Z_{2m} = \frac{Z_2 \sin \theta_2}{\sin \theta_{2m}} \quad (7)$$

$$Z_{1s} = \frac{1}{2} \frac{Z_1 \sin \theta_1 \tan \theta_{1s}}{\cos \theta_{1m} - \cos \theta_1} \quad (8)$$

$$Z_{2s} = \frac{1}{2} \frac{Z_2 \sin \theta_2 \tan \theta_{2s}}{\cos \theta_{2m} - \cos \theta_2} \quad (9)$$

$$Z_{12s} = \frac{Z_1 \sin \theta_1 \tan \theta_{1s}}{\cos \theta_{1m} - \cos \theta_1} \square \frac{Z_2 \sin \theta_2 \tan \theta_{2s}}{\cos \theta_{2m} - \cos \theta_2} \quad (10)$$

2. 커플러 설계 및 시뮬레이션 결과

본 논문에서는 비유전율(ϵ_r) 4.4, 기판 두께(h) 1.6mm인 FR-4 기판을 사용하여 시뮬레이션을 하였다. 그림 4에 Open-PI형 등가 전송선로 변형 방법을 적용하여 두 개의 연결된 전송선로로 설계된 912MHz의 Quadrature 하이브리드 커플러를 보여주고 있다.

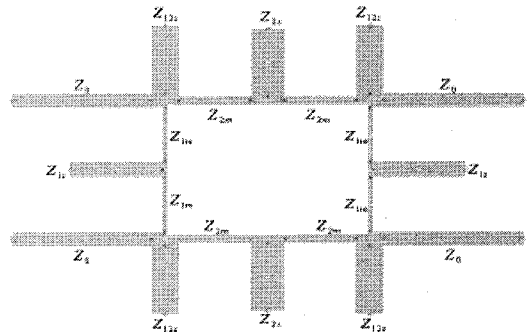


그림 4. 912MHz Open-PI형 Quadrature 하이브리드 커플러
Fig. 4. 912MHz Open-PI Quadrature hybrid coupler

기본 Quadrature 하이브리드 커플러의 선로길이 $\lambda/4$ 를 Open-PI형 등가 전송선로의 중심선로 길이(θ_{1m}, θ_{2m}) $\lambda/16$ 으로 고정하고 등가 전송선로의 가지선로 길이(θ_{1s}, θ_{2s})를 변화 시켰다. 표 1은 가지선로의 길이 변화에 따른 커플러의 전체 면적을 비교하였다.

표 1. 가지선로의 변화에 따른 커플러의 면적 비교

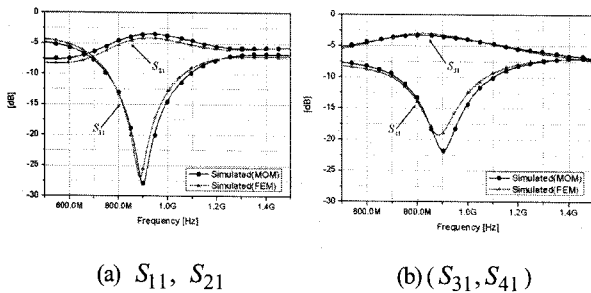
Table 1. Area of coupler for different lengths of Branch line

$\theta_{1s}, \theta_{2s} (^{\circ})$	20	30	40
$Z_{1s} (\Omega)$	29.68	47.08	68.43
$W_{1s} (mm)$	6.62	3.33	68.43
$L_{1s} (mm)$	9.65	14.97	20.57
$Z_{2s} (\Omega)$	20.99	33.29	48.39
$W_{2s} (mm)$	10.42	5.64	3.18
$L_{2s} (mm)$	9.44	14.60	20.00
$Z_{3s} (\Omega)$	24.59	39.00	56.69
$W_{3s} (mm)$	8.51	4.48	2.42
$L_{3s} (mm)$	9.54	14.76	20.25
면적(mm^2)	5297.85	5179.76	5480.35

표 1에서 가지선로의 길이(θ_{1s}, θ_{2s})가 30° 일 경우에 가장 작은 면적을 갖는 것을 알 수 있고, 기본 $\lambda/4$ 의 길이는

47.378mm이지만 Open-PI형 등가 전송선로의 직선 길이는 23.051mm로 51%가량 축소 된 것을 알 수 있었다.

그림 5는 912MHz의 Open-PI형 등가 전송선로를 적용한 Quadrature 하이브리드 커플러를 MOM과 FEM으로 해석한 S-Parameter 결과를 보여주고 있다. 그림 5(a)는 S₁₁과 S₂₁을 그림 5(b)는 S₃₁과 S₄₁을 보여주고 있다. 시뮬레이션 결과 관심 주파수 912MHz에서 출력 2번과 3번은 3.5±0.5dB로 전력 분배가 되고 있음을 확인할 수 있었다. 그림 6은 Phase 결과를 보여주고 있으며, 위상차는 90±0.5°로 물리적인 크기를 줄이면서 동일한 특성을 동시에 만족 시키는 결과를 보여주고 있다. 또한 두 가지 해석방법에 의한 시뮬레이션 결과 서로 유사한 것을 확인할 수 있었다.



(a) S₁₁, S₂₁

(b) (S₃₁, S₄₁)

그림 5 912MHz Open-PI형 Quadrature 하이브리드 커플러 시뮬레이션 결과 (S-Parameter)

Fig. 5 Simulation result of 912MHz Open-PI Quadrature hybrid coupler (S-Parameter)

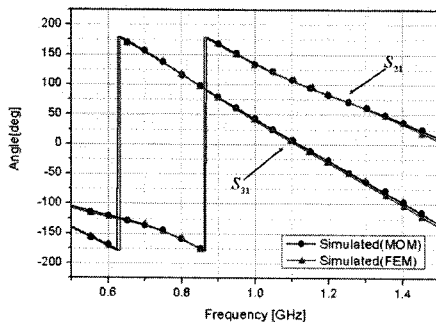


그림 6 912MHz Open-PI형 Quadrature 하이브리드 커플러 시뮬레이션 결과 (Phase)

Fig. 6 Simulation result of 912MHz Open-PI Quadrature hybrid coupler (Phase)

3. 제작 및 측정결과

비유전율(ϵ_r) 4.4, 기판 두께(h) 1.6mm인 FR-4 기판을 사용하여 제작하였다. 그림 7은 제안한 912MHz의 Open-PI형 Quadrature 하이브리드 커플러의 제작 모습을 보여주고 있다.

제작된 커플러는 입력 1번에서 출력 2번으로 길이가 기본 $\lambda/4$ 커플러에 비해 약 50% 감소되었고, 전체 면적은 약 65%로 감소 되었다. 그림 8에서 (a)는 제작된 커플러의 S-Parameter 시뮬레이션과 측정결과의 S₁₁과 S₂₁을 그림 8(b)는 제작된 커플러의 S-Parameter 시뮬레이션과 측정결과의 S₃₁과 S₄₁을 보여주고 있다. 그림 9에는 Phase 시뮬레이션과 측정결과 비교를 보여주고 있다.

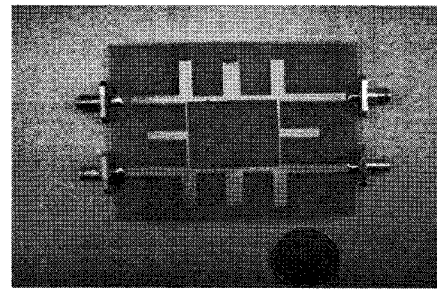
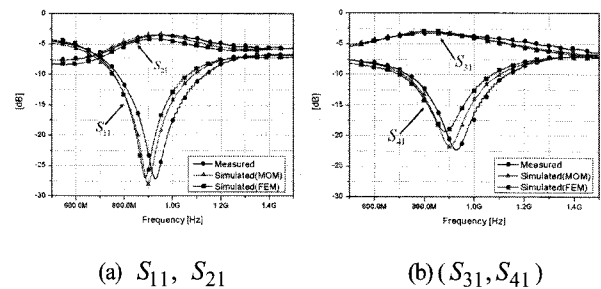


그림 7 제안한 912MHz Open-PI형 Quadrature 하이브리드 커플러

Fig. 7 The proposed 912MHz Open-PI Quadrature hybrid coupler



(a) S₁₁, S₂₁

(b) (S₃₁, S₄₁)

그림 8 제안한 912MHz Open-PI형 Quadrature 하이브리드 커플러 시뮬레이션과 측정결과 비교 (S-Parameter)

Fig. 8 Measured and simulation result of proposed 912MHz Open-PI Quadrature hybrid coupler (S-Parameter)

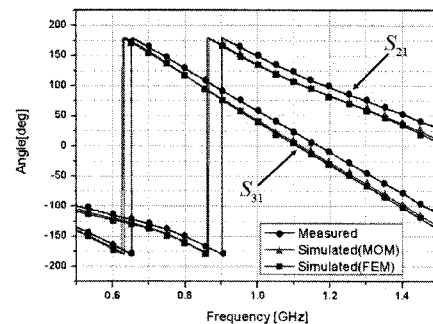


그림 9 제안한 912MHz Open-PI형 Quadrature 하이브리드 커플러 시뮬레이션과 측정결과 비교 (Phase)

Fig. 9 Measured and simulation result of proposed 912MHz Open-PI Quadrature hybrid coupler (Phase)

전반적으로 측정결과와 시뮬레이션결과가 유사한 주파수 특성을 보여주고 있다. 그러나 제작 및 측정상의 오차가 발생하여 선로의 길이가 미세하게 감소하면서 중심 주파수가 912MHz에서 927MHz로 올라갔다. 또한 이로 인하여 출력 포트간의 위상특성에도 영향을 미쳤다.

입력과 격리 출력의 S-Parameter는 관심 주파수 912MHz에서 두 출력은 -3.65dB, -3.45dB와 격리 포트는 -29dB로 양호한 전력 분배와 차단 특성을 보여주고 있고, 두 출력 신호의 위상차는 90±1.5°로 양호한 특성을 보인다.

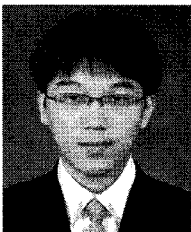
III. 결론

본 논문은 Open-PI형 등가 전송선로를 적용한 Quadrature 하이브리드 커플러를 설계하고 MOM과 FEM해석 방법의 시뮬레이션을 비교 분석 하였다. 설계한 커플러는 기본 $\lambda/4$ 전송선로를 Open-PI형 등가 전송선로로 변형을 하여 라인의 길이를 줄임으로 전체 크기를 줄였다.

MOM과 FEM 두 가지 해석 방법 시뮬레이션을 비교해보면 두 결과가 일치 하는 것을 확인 할 수 있었다. 측정 결과는 제작과 측정상의 오차로 인해서 중심 주파수가 약 15MHz 올라 갔으며, 두 출력 포트간의 위상차에도 영향을 주었다. 그러나 관심 주파수에서 두 출력은 -3.65dB, -3.45dB의 전력 분배를 격리 포트는 -29dB로 차단 특성을 보여주며, 두 출력 포트 간의 위상차는 $90 \pm 1.5^\circ$ 로 기본 $\lambda/4$ Quadrature 하이브리드 커플러의 특성을 만족하면서 전체 크기가 65% 감소 된 것을 알 수 있었다. 본 논문의 결과를 통해 마이크로스트립 라인을 이용한 Circulator, Divider 또는 방향성 결합기 등을 설계 할 때에 응용할 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

- [1] 차현원, 구자경, 임종식, 정용채, 안달, "이중기관 결합기 저면구조를 이용한 브랜치 하이브리드 설계," 마이크로파 및 전파전파 학술대회 논문집, vol. 31, no.1, pp. 95-98, May 2008.
- [2] 이홍섭, 황희용, "헤어핀 형태의 결합 선로를 이용한 소형화된 링 하이브리드 설계," 한국전자과학회 논문지, vol. 18, no. 5, pp. 547-552, May 2007.
- [3] 이홍섭, 이철희, 황희용, "소형화 및 고조파 특성이 개선된 접힌 구조의 링 하이브리드의 설계," 한국전자과학회 논문지, vol. 17, no. 9, pp. 845-851, September 2006.
- [4] Raghu K. Settaluri, G Sundberg, A. Weisshaar, and V. K. Tripathi, "Compact folded line rat-race hybrid coupler," *IEEE Trans. Microwave Guide Wave Letters*, vol. 10, no. 2, pp. 61-63, Feb., 2000.
- [5] David M. Pozar, *Microwave Engineering*, John Wiley, pp. 333-335, 2005.
- [6] Ming-Lin Chuang, "Miniaturized ring clupler of arbitrary reduced size," *IEEE Microwave & Wireless Components Letters*, vol. 15, no. 1, pp. 16-18, Jan., 2005.



김 군 태

2008년 서경대학교 정보통신공학과 졸업. 2008년~현재 중앙대학교 공과대학원 석사과정 재학 중. 관심분야는 Antenna Design, Passive Component.



장 세 욱

2007년 중앙대학교 전자전기공학부 졸업. 2007년~현재 중앙대학교 공과대학원 석사 과정 재학 중. 관심분야는 Antenna Design, Passive Component.



김 형 석

1985년 서울대학교 전기공학 공학사. 1987년 서울대학교 전기공학 공학 석사. 1990년 서울대학교 전기공학 공학 박사. 1990~2002 순천향대학교 정보기술공학부 부교수. 1997~1998 R.P.I 미국 방문 교수. 2002~현재 중앙대학교 전자전기공학부 교수. 관심분야는 전자장 및 수치해석, RF 및 마이크로웨이브 소자 해석 및 설계, RFID 시스템 연구, IT-SoC응용 회로, 전력 IT.