

헤어핀 형태의 결합 선로를 이용한 소형화된 링 하이브리드의 설계

A Design of Size Reduced Ring-Hybrid using Coupled Lines of Hairpin Type

이 홍 섭 · 황 희 용

Hong-Seop Lee · Hee-Yong Hwang

요 약

본 논문에서는 두 마이크로스트립 라인으로 이루어진 헤어핀 형태의 결합 선로를 이용하여 특성이 개선된 링 하이브리드를 설계하였다. 제안한 구조는 링 하이브리드의 $\lambda/4$ 라인에 헤어핀 형태의 결합 선로를 삽입하여 두 선로가 가까워짐에 따라 선로간의 커플링으로 세 개의 감쇠극이 생겨 넓은 저지대역을 갖는 결합 선로 구조를 이용하여 구성함으로써 링 하이브리드의 크기 감소뿐만 아니라 고조파 제거 특성도 부가하였다. 중심 주파수 2.55 GHz에서 일반적인 링 하이브리드와 특성이 같고 3차 고조파를 포함한 12 GHz까지 -20 dB 이하의 고조파 저지 특성을 가지고 있다. 또한 링 부분의 크기는 기존 링 하이브리드의 1/4 크기로 줄어들었다. 제작된 링 하이브리드의 측정된 주파수 특성 결과는 시뮬레이션 결과와 잘 일치한다.

Abstract

In this paper, the coupled microstrip lines of hairpin type are applied to design a compact microstrip ring hybrid. When the gap decreases, three attenuation poles are created by coupling between the lines. The proposed structure can achieve a significant reduction of size and suppression of the harmonics. And it has the same frequency responses of conventional ring hybrid at 2.55 GHz. The harmonics are suppressed to below -20 dB up to 12 GHz, including the third harmonic. The ring part size of the proposed ring hybrid is reduced to one fourth of the conventional ring hybrid. The measured frequency responses agree well with simulated ones.

Key words : Coupled Line, Ring Hybrid, Size Reduction, Harmonic Suppression, Rat-Race Hybrid

I. 서 론

현재의 정보 통신과 이동 통신 분야의 급격한 발전과 더불어 사용자의 욕구 충족과 편리를 위하여 다양한 통신 서비스와 송·수신 시스템이 개발되고 있는 상황이다. 일반적으로 송·수신 시스템에서 방향성 결합기는 위상차를 갖는 전력 분배기 역할을 하고 고조파 성분을 제거하기 위해서는 저역 통과

여파기를 다시 연결하는 형태의 설계가 이루어지고 있다. 이는 시스템의 크기가 증가하는 결과로 나타나게 된다. 그러므로 통신 시스템의 저가격화, 초소형화 및 복합 기능의 필요성은 이제 당면한 과제가 되었고, 이와 같은 과제들의 돌파구를 찾기 위해 여러 가지 방안들이 연구·발표되고 있다. 그 중에서도 마이크로스트립 라인을 이용한 방향성 결합기의 대표적인 예는 $\lambda/4$ 평형 선로 결합기, $\lambda/4$ 브랜치

「저자들은 연구관련 장비를 지원해 주신 강원대학교 정보통신연구소에 감사드립니다.
강원대학교 IT 특성화 학부대학(College of Information Technology, Kangwon National University)

· 논문 번호 : 20070205-020

· 수정완료일자 : 2007년 4월 12일

라인형 결합기 및 링 하이브리드 방향성 결합기 등이 많이 이용되고 있다. 그러나, 낮은 주파수 대역에서의 일반적인 3 dB 방향성 결합기는 물리적인 크기가 너무 큰 단점을 가지고 있다. 이에 따라 선로를 접거나 개방 스테브를 추가하여 크기를 줄이기 위한 방법들이 연구되었다^{[1][2]}. 이들의 방법들은 단지 방향성 결합기의 물리적인 크기만을 감소하기 위한 설계법이다. 또한, 능동 소자들의 비선형성에 의해 발생하는 신호들 중 원치 않는 고조파 신호를 얼마나 효과적으로 잘 처리하는가 하는 능력은 시스템 성능을 좌우하는 결정적인 요소들 중의 하나이다. 대부분의 경우, 고주파 시스템에 다중, 다수의 필터를 사용하여 불요신호를 제거 또는 억제하게 된다. 이런 추가적인 회로는 소자의 크기가 커지고 손실이 증가하는 단점을 갖는다. 또한, 이런 방법은 동시에 여러 개의 의도적인 감쇠극을 만들기 곤란하므로 넓은 저지 대역 구현 방법으로는 제한적이다^[3]. 이런 불요 신호를 제거하기 위하여 부가 회로가 없는 DGS(Defected Ground Structure)를 이용한 방법이 연구되었다^[4]. 그러나 이러한 방법은 크기를 줄이는데 한계가 있고 접지면이 회로의 일부로 사용되어 시스템에의 적용 상에 추가적인 주의를 요한다.

본 논문에서는 방향성 결합기를 광대역 저지 특성이 우수한 헤어핀 형태의 결합 선로를 이용하여 구성함으로써 크기를 대폭 줄일 수 있을 뿐만 아니라 부가적인 회로를 넣지 않고도 일정 주파수까지 고조파 특성을 차단한다.

II. 링 · 하이브리드 설계

2-1 광대역 감쇠극을 가지는 $\lambda/4$ 의 LUC

$\lambda/4$ 선로를 기본으로 하는 기존의 링 하이브리드 방향성 결합기의 구조를 그림 1에 나타내었다. 링의 크기는 기본 $\lambda/4$ 가 여섯 개가 합쳐져서 1.5λ 의 길이를 가지고 있으며, 주파수 특성은 주기적인 구조에 의하여 홀수 배 주파수들에서 고조파 특성이 반복된다. 이러한 고조파 특성은 차단 주파수가 f_0 를 포함하는 통과 대역 이상이고, 2% 이하인 LPF로 제거할 수 있다^[1].

그림 2의 구조 중앙에 있는 헤어핀 형태의 결합

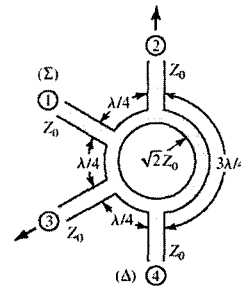


그림 1. 일반적인 링 하이브리드 방향성 결합기
Fig. 1. Conventional ring hybrid directional coupler.

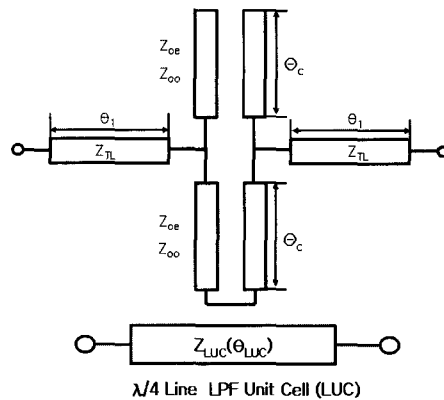


그림 2. 결합 선로를 이용한 $\lambda/4$ 길이의 LUC
Fig. 2. $\lambda/4$ LUC using a coupled line.

선로는 두 라인 사이의 커플링이 커질수록 기, 우 모드 특성 어드미턴스 값의 차가 커져서 커플링이 없을 때의 중심 주파수 위, 아래에 감쇠극이 생겨 광대역 저지 특성을 갖는다^[5]. 이 그림 2의 헤어핀 형태의 결합 선로를 이용한 저역 통과 특성을 갖는 $\lambda/4$ 의 단위 구조(Low pass filter Unit Cell: LUC)와 같이 두 개의 전송 선로 사이에 $3f_0$ 에서 $\lambda_g (=4 \times \theta_c)$ 길이의 결합 선로인 헤어핀 형태의 결합 선로 등가 회로의 f_0 에서 전기적 길이(θ_c)와 양 옆에 전송 선로(θ_L)를 연결하여 f_0 의 방향성 결합기에 사용하기 위한 θ_{LUC} 의 전기적 길이가 $\lambda/4 (=2 \times \theta_L + \theta_c)$ 이며, 또한 커플링 대역의 주파수보다 높은 차단주파수(f_c)를 가지는 저역 통과 특성을 갖도록 설계를 할 수 있다. 그림 3(a)의 결합 선로 구조에 대한 그림 3(b)의 T-형 등가 회로의 각 파라미터들은 참고문헌 [3]과 [8]의 기술된 방법으로 L_p 와 C_p 를 구할 수 있다^{[3][6]-[8]}.

그림 3의 Z_{oe} , Z_{oo} 는 결합 선로의 우수-, 기수-모드

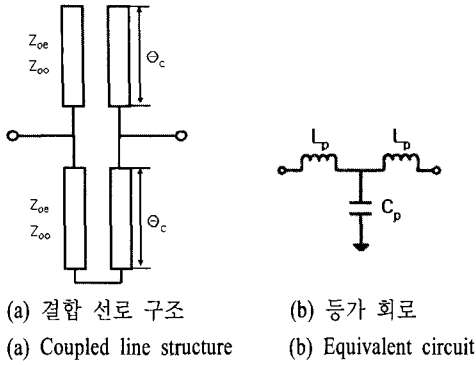


그림 3. 결합 선로 구조의 등가 회로
Fig. 3. Equivalent circuit of coupled line structure.

일 때의 임피던스, θ_c 는 결합 선로의 전기적 길이, L_p 와 C_p 는 결합 선로의 T-형 등가 회로의 파라미터이다. 전송 선로의 임피던스 Z_{TL} 및 결합 선로의 등가 회로 임피던스는 결합기에 바로 적용할 수 있게 70.7 Ω 을 사용하며, 양 옆의 전송 선로의 전기적 길이 θ 을 포함하여 $\lambda/4$ 의 전기적 길이를 갖는 LUC 설계가 가능하다. LUC 설계 시 커플링 대역의 주파수보다 높은 차단주파수(f_c)를 가지는 저역 통과 특성을 갖도록 설계를 하여 커플링 주파수에 영향이 없도록 하여야 한다. 원형 소자를 이용한 차단 주파수 f_c 를 갖는 그림 3(b) 구조와 일반적인 분산 소자와의 관계를 이용하여 결합 선로의 물리적인 파라미터를 유도할 수 있다^{[6],[7],[9]}. 그림 4는 2.45 GHz의 커플링 주파수보다 높은 -3 dB 차단 주파수 $f_c=4$ GHz를 갖는 고조파 저지 특성이 개선된 저역 통과 특성을 얻었다. 이 LUC의 2.45 GHz에서의 전기적 길이는 89.9°를 갖는다. 광대역의 고조파 저지 특성을 갖는 LUC의 회로 시뮬레이션의 물리적 변수는 표 1과 같다.

직렬 인덕터, 병렬 커패시터의 ABCD-행렬을 이용하여 그림 3(b)의 결합 선로의 등가 회로에 대한 ABCD-행렬^[8]과 일반적인 전송 선로(TL)의 ABCD-행렬식을 이용하여 그림 2의 제안한 $\lambda/4$ 길이의 저역 통과 여파기의 전체 ABCD-행렬(T)은 참고문헌 [8]의 식 (6), 식 (7)과 같이 구할 수 있다^{[3],[8]}.

제안한 구조의 ABCD 파라미터와 $\lambda/4$ 선로의 ABCD 파라미터는 동일한 값을 가진다. 또한 2.45 GHz 70.7 Ω 의 $\lambda/4$ 길이는 17.355 mm이지만 제안한 구조의 직선 길이는 7.3 mm로 약 58%가 줄어들었다.

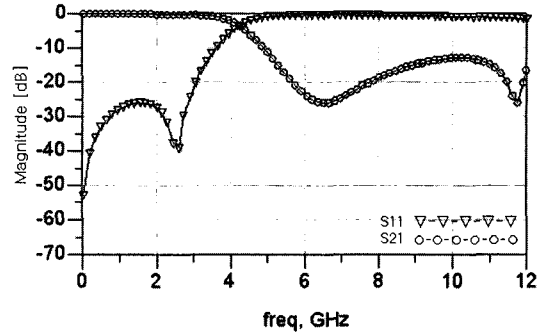


그림 4. 결합 선로를 이용한 LUC의 특성(회로 시뮬레이션)
Fig. 4. Result of using the LUC(Circuit simulation).

표 1. LUC의 물리적 길이(회로 시뮬레이션)
Table 1. Physical parameters of LUC(Circuit simulation).

70.7 Ω 선로 (mm) [$Z_{TL}(\theta_1)$]	결합 선로 θ_c (mm)
Width: 0.75 Length: 3.50	Width: 0.30 Space: 0.10 Length: 5.40
기판 제원 ϵ_r : 4.4, h : 0.762 mm, t : 38 μ m, $\tan \delta$: 0.025	

2-2 LUC를 이용한 3 dB 방향성 결합기 구성

그림 2에서 설계한 전기적 길이 $\lambda/4$ 인 LUC를 이용하여 그림 1의 일반적인 링 방향성 결합기의 $\lambda/4$ 선로에 각각 대응시켜 그림 5와 같은 결합기의 구조

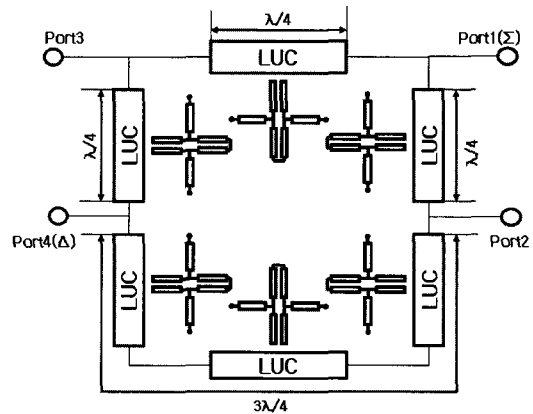


그림 5. 제안한 링 하이브리드 방향성 결합기
Fig. 5. The proposed ring hybrid coupler.

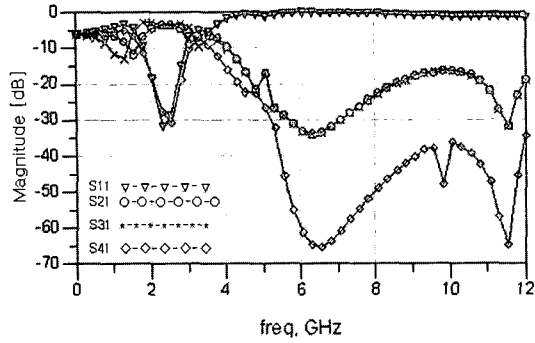


그림 6. 제안한 링 하이브리드 방향성 결합기 특성 (회로 시뮬레이션)

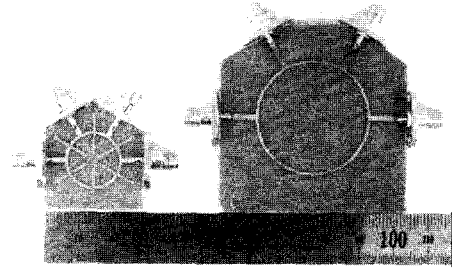
Fig. 6. Result of the proposed ring hybrid coupler(Circuit simulation).

를 얻었다. 이는 물리적 크기를 줄이면서 동일한 특성을 동시에 만족시킬 수 있다.

그림 6은 전기적 길이 $\lambda/4$ 의 LUC의 저지 대역과 일치하는 광대역 고조파 저지 특성을 가지는 방향성 결합기의 회로 시뮬레이션 특성으로 2.45 GHz에서 커플링 대역은 일반적인 커플러와 동일한 전력 분배, 임피던스 정합 및 격리 특성을 보이며 고조파 저지 대역이 12 GHz까지 약 -16 dB 이하의 양호한 차단 특성을 가지고 있다.

2.3 링 하이브리드의 EM 시뮬레이션 및 제작

본 논문에서는 비유전율(ϵ_r) 4.4 기판 두께(h) 0.762 mm인 FR-4 기판을 사용하여 시뮬레이션 및 제작하였다. 그림 7에 2.45 GHz의 제안한 결합기의 크기를 제작된 결합기를 통해 보여주고 있으며, 일반적인 결합기와 비교하여 링 부분의 면적이 기존의 25%로 상당히 감소되었다. 그림 8은 제안한 하이브리드 방향성 결합기의 EM 시뮬레이션 특성이다. EM 시뮬레이션의 결과에서 커플링 구간의 특징은 일반적인 커플러와 동일한 특성을 보이며, 고조파 저지 특성은 회로 시뮬레이션보다 개선되었다. 이는 회로 시뮬레이션에서 고려하지 못한 마이크로스트립 선로의 edge 커패시턴스가 증가하여 모여있던 감쇠극이 3개의 감쇠극으로 나타난 것이다. 그러나 제작 및 측정상 오차가 발생하였으며, 전체 모형을 원형으로 변환하는 과정에서 미세하게 호의 길이가 감소하면서 중심 주파수는 2.45 GHz에서 2.55 GHz로 올



(a) 제안한 링 하이브리드 (b) 2.45 GHz의 일반적인 링 하이브리드
(a) The proposed ring hybrid (b) 2.45 GHz conventional ring hybrid.

그림 7. 제안한 링 하이브리드 제작 및 크기 비교
Fig. 7. A comparison the proposed ring hybrid to the conventional ring hybrid.

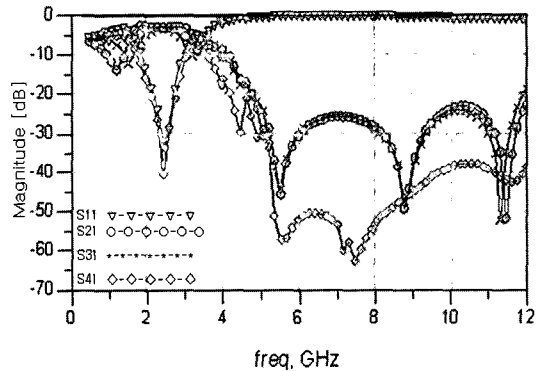


그림 8. 결합 선로를 이용한 링 하이브리드 특성(EM 시뮬레이션)

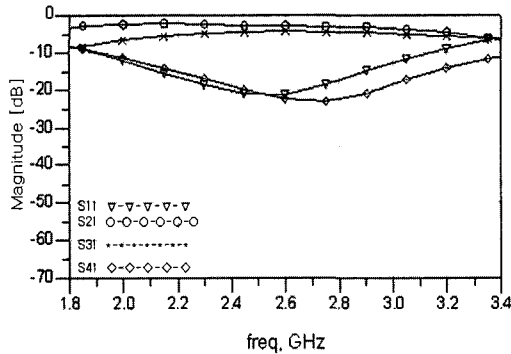
Fig. 8. Result of the proposed ring hybrid coupler(EM simulation).

라갔다. 또한 이로 인하여 출력 포트간의 위상 특성에도 미세한 영향을 미쳤다. 차단 구간은 약 12 GHz까지 -20 dB 이하의 양호한 차단 특성을 보여주고 있다. 제작된 링 하이브리드의 설계변수는 표 2와 같다.

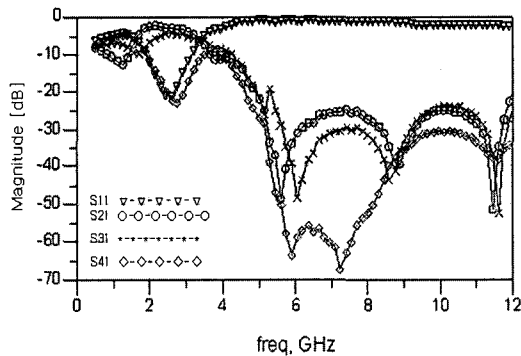
제작한 링 하이브리드의 측정 결과인 그림 9는 EM 시뮬레이션 결과와 전반적으로 유사한 주파수 특성을 보여주고 있다. 그림 9(a)는 커플링 구간의 전력 분배, 임피던스 정합 및 격리 특성을 보여주고 있으며, 그림 9(b)는 고조파 영역의 3체배 고조파를 포함한 12 GHz까지 -20 dB 이하의 광대역의 양호한 차단 특성을 보인다. 또한, 출력 신호의 위상차는

표 2. 제작한 결합기의 물리적 길이
Table 2. Physical parameters of the fabricated ring hybrid.

원의 반지름 (mm)	70.7 Ω 선로 (mm) [Z _{TL} (θ ₁)]	결합 선로 θ _c (mm)
7.6	Width: 0.75	Width: 0.30
-	Length: 3.30	Space: 0.10
-	-	Length: 5.40



(a) 측정 결과(전력 분배 특성)
(a) Measured result(In-band S-parameters)



(b) 측정 결과(고조파 저지 특성)
(b) Measured result(Wide-band S-parameters)

그림 9. 제안한 링 하이브리드의 측정 결과
Fig. 9. Measured results of the proposed ring hybrid.

동위상 0°+5°이내, 역위상 180°+6.3°이내의 양호한 특성을 갖고 있다.

III. 결 론

링 하이브리드 방향성 결합기의 소형화 및 고조파 특성 개선을 위해 본 논문에서는 각 포트 간에

헤어핀 형태의 결합 선로를 이용한 전기적 길이 λ/4의 LUC를 조합하여 결합기의 크기 감소뿐만 아니라 광대역의 고조파 차단 특성도 나타내는 링 하이브리드를 제안하였다. 제안된 방향성 결합기는 중심 주파수에서 정합 및 분리가 가능하며, 링 부분의 면적이 기존 것의 약 1/4로 줄었을 뿐만 아니라 3차배 고조파를 포함한 12 GHz까지 -20 dB 이하로 고조파를 차단하는 우수한 특성을 보이고 있다. 출력 포트사이의 결합도의 오차는 보다 정교하게 결합기를 제작 및 실험을 함으로써 개선될 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

- [1] 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.
- [2] Ming-Lin Chuang, "Miniaturized ring coupler of arbitrary reduced size", *IEEE Microwave & Wireless Components Letters*, vol. 15, no. 1, pp. 16-18, Jan. 2005.
- [3] 이홍섭, 이철희, 황희용, "소형화 및 고조파 저지 특성이 개선된 집힌 구조의 링 하이브리드의 설계", *한국전자과학회논문지*, 17(9), pp. 845-851, 2006년 9월.
- [4] Y. J. Sung, C. S. Ahn, and Y. -S. Kim, "Size reduction and harmonic suppression of rat-race hybrid coupler using defected ground structure", *IEEE Microwave & Wireless Components Letters*, vol. 14, no. 1, pp. 7-9, Jan. 2004.
- [5] 김성일, 기철식, 박인모, 임한조, "넓은 저지대역을 가지는 압축된 PBG 링 구조", *한국전자과학회논문지*, 13(10), pp. 1071-1077, 2002년 12월.
- [6] David M. Pozar, *Microwave Engineering*, John Wiley & Sons, Inc., 2005.
- [7] G. L. Matthaci et al., *Microwave Filters, Impedance Matching Networks, and Coupling Structures*, Artech House, pp. 429-434, 1980.
- [8] 이홍섭, 황희용, "넓은 저지대역을 가지는 압축된 PBG 링 구조를 이용한 소형화된 링 하이브리드의 설계", *한국전자과학회 종합학술발표회 논문집*, 16(1), pp. 117-121, 2006년 11월.

이 홍 섭



2005년 2월: 강원대학교 전기전자
정보통신공학부 (공학사)
2007년 2월: 강원대학교 전기전자
공학과 (공학석사)
[주 관심분야] RF, Microwave, Mi-
llimeter wave 분야의 부품 및 시
스템

황 희 용*



1992년 2월: 서울대학교 전자공학
과 (공학사)
1995년 2월: 서강대학교 전자공학
과 (공학석사)
2000년 2월: 서강대학교 전자공학
과 (공학박사)
2001년 3월~2002년 4월: University
of Maryland Research Scholar
2002년 5월~2003년 4월: (주)아모텍 연구소장
2003년 2월~현재: 강원대학교 IT특성화학부대학 전기전
자공학전공 부교수
[주 관심분야] RF, Microwave, Millimeter wave 분야의 부
품 및 시스템
*책임저자