

광대역 고조파 감쇠특성을 갖는 소형화된 링-하이브리드의 설계

A Design of Miniaturized Ring-Hybrid Coupler
with Broadband Harmonic Attenuation Property

이 흥 섭 · 최 경 · 황 희 용

Hong-Seop Lee · Kyoung Choi · Hee-Yong Hwang
강원대학교 IT특성화학부대학 전기전자공학과

Abstract

Folded lines are applied to design a compact microstrip ring hybrid. Using the proposed structure we achieve both significant size reduction and good harmonic suppression with the same results of conventional ring hybrid at 2.41GHz. Including the third harmonic frequency, up to 11GHz band harmonics are suppressed to -20dB. The 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.

Keywords

folded line, ring hybrid, coupler, size reduction, harmonic suppression, rat-race hybrid

1. 서 론

현재 고주파 및 초고주파 분야는 이동통신의 급격한 발전 및 서비스의 다양화로 인해 더 넓고, 더 높은 주파수 대역을 사용하는 추세이다. 이에 따라 시스템이 복잡해지고 내부에 사용되는 혼합기, 증폭기, 발진기, 다이오드 스위치 등 능동소

자의 사용이 늘면서 그들이 발생하는 고조파, 상호 변조 왜곡 등 불요 신호(unwanted signal)의 제거는 과거로부터 지금까지 해결해야 할 근본적인 문제이고, 시스템의 광대역화로 이들 문제는 더욱 심각해지고 있다^[1].

또한, 통신 시스템의 저가격화, 초소형화 및 복합 기능의 필요성은 이제 당연한 과제가 되었고, 이와 같은 과제들의 돌파구를 찾기 위해 여러 가지 방안들이 연구, 발표 되고 있다. 그 중에서도 마이크로스트립 라인을 이용한 방향성 결합기의 대표적인 예는 1/4파장 평형선로 결합기, 1/4파장 브랜치 라인형 결합기 및 링-하이브리드 방향성 결합기 등이 많이 이용되고 있다. 그런데, 낮은 주파수 대역에서의 일반적인 3dB 방향성 결합기는 물리적인 크기가 너무 큰 단점을 가지고 있다. 이에 따라 선로를 접거나 개방 스테브를 추가하여 크기를 줄이기 위한 방법들이 연구되었다^{[2][3]}. 이들의 방법들은 단지 방향성 결합기의 물리적인 크기만을 감소하기 위한 설계법이다. 또한, 초고주파 시스템은 많은 요인들에 의해 영향을 받겠지만, 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 이런 불요 신호를 최대한

제거 또는 억제하기 위해 대부분의 경우 고주파 시스템에 다중, 다수의 필터를 사용하게 된다. 이런 부가적인 회로는 소자의 크기가 커지고 손실이 증가하는 단점을 갖는다. 또한 이런 방법은 동시에 여러 개의 의도적인 감쇠극을 만들기 곤란하므로 넓은 저지 대역 구현 방법으로는 제한적이다^[1]. 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 적용상에 추가적인 주의를 요한다.

본 논문에서는 방향성 결합기를 광대역 저지 특성이 우수한 결합선로 형태의 저역 통과 여파기 구조를 이용하여 구성함으로써 크기를 대폭 줄일 수 있을 뿐만 아니라 부가적인 회로를 넣지 않고도 3차배 주파수에서 통과대역이 반복되는 특성을 차단한다.

II. 링-하이브리드 설계

1. 전기적 길이 $\lambda/4$ 의 저역통과 여파기

$\lambda/4$ 선로를 기본으로 하는 기존의 링-하이브리드 방향성 결합기 구조 및 특성을 그림 1, 그림 2에 각각 나타내었다. 링의 크기는 기본 $\lambda/4$ 가 여섯 개가 합쳐져서 1.5λ 의 길이를 가지고 있으며, 주파수 특성은 홀수 차배 주파수들에서 고조파 특성이 반복된다.

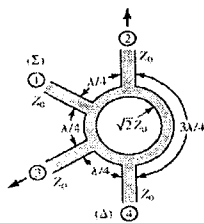


그림 1. 일반적인 링-하이브리드 방향성 결합기
Fig. 1. Conventional hybrid-ring directional coupler

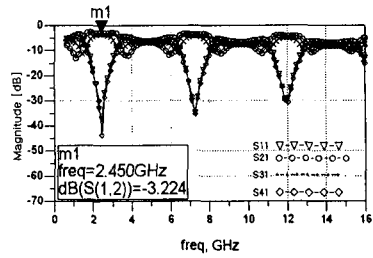


그림 2. 일반적인 링-하이브리드 방향성 결합기 특성
Fig. 2. Characteristics of conventional ring-hybrid directional coupler

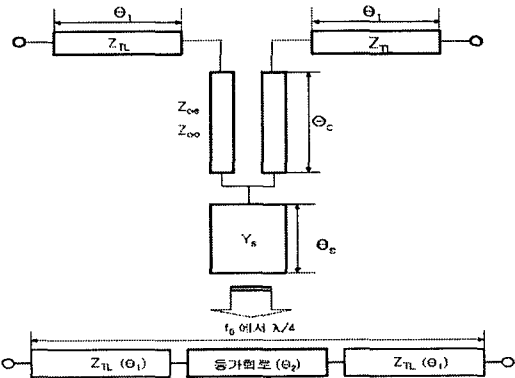


그림 3. 결합 선로를 이용한 $\lambda/4$ 길이의 저역통과 여파기
Fig. 3. $\lambda/4$ length LPF of using the coupled line

이러한 고조파 특성은 차단 주파수가 f_0 를 포함하는 통과대역 이상이고, $2f_0$ 이하인 LPF로 제거할 수가 있다. 그림 3의 중앙에 있는 두 개의 전송선로 사이에 개방 스텐브를 포함하는 결합선로를 갖는 구조는 전체적으로 저역통과 여파기의 특성을 갖는다^[5].

이 구조의 결합 선로와 개방 스텐브의 LPF 등가 회로의 전기적 길이(θ_2)를 포함하여 양 옆에 전송선로(θ_1)를 연결하여 f_0 의 방향성 결합기에 사용하기 위한 전기적 길이가 $\lambda/4$ ($=2 \times \theta_1 + \theta_2$)이며, 또한 커플링 대역의 주파수 보다 높은 차단주파수(f_c)를 가지는 LPF가 되도록 설계를 할 수 있다^{[5]-[7]}.

그림 4는 2.45GHz의 커플링 주파수 보다 높은 -3dB 차단 주파수 $f_c=4\text{GHz}$ 를 갖는 고조파 저지 특성이 개선된 LPF의 특성을 얻었다. 광대역의 고조파 저지특성을 갖는 LPF의 회로 시뮬레이션의 물리적 변수는 표 1과 같다.

표 1. 링-하이브리드의 물리적 길이
(회로 시뮬레이션)

Table 1. Physical parameters of proposed ring-hybrid (Circuit simulation)

70.7Ω선로(mm) [Z _{TL} (Θ _l)]	결합선로(mm)	개방 스터브(mm)
Width: 0.729 Length: 3.81 -	Width: 0.14 Space: 0.17 Length: 5.69 -	Width1: 0.51 Length1: 2.165 Width2: 0.9793 Length2: 1.512
기판제원 $\epsilon_r:4.4, h:0.762\text{mm}, t:38\mu\text{m}, \tan\delta:0.025$		

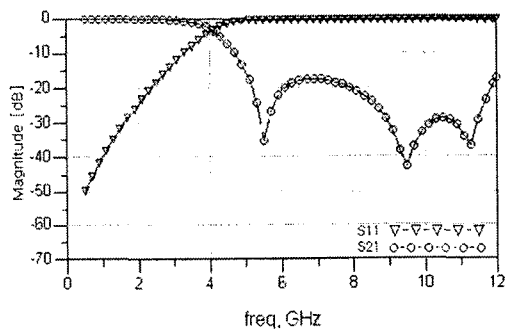


그림 4. 결합 선로를 이용한 LPF의 특성
(회로 시뮬레이션)

Fig. 4. Result of using the coupled line LPF (Circuit simulation)

2. LPF를 이용한 3dB 방향성 결합기

그림 3에서 설계한 전기적 길이 $\lambda/4$ 인 저역통과 여파기를 이용하여 그림 1의 일반적인 링 방향성 결합기의 $\lambda/4$ 선로에 각각 대응시켜 그림 5와 같은 결합기의 구조를 얻었다. 이는 물리적 크기를 줄이면서 동일한 특성을 동시에 만족 시

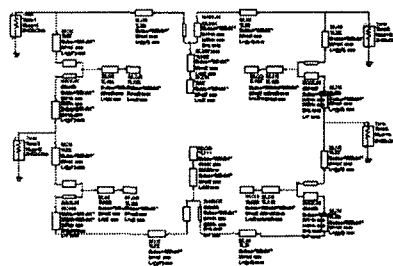


그림 5. 크기 감소된 링-하이브리드 방향성 결합기
Fig. 5. Proposed ring-hybrid coupler

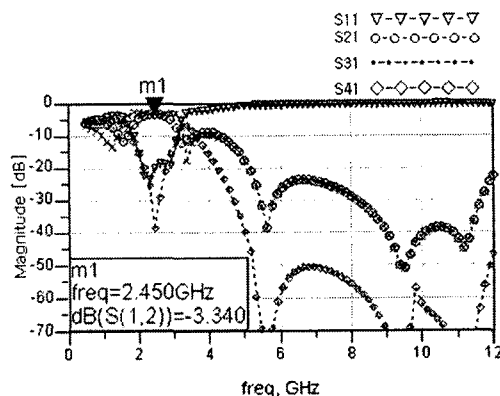


그림 6. 크기 감소된 링-하이브리드 방향성 결합기
특성 (회로 시뮬레이션)

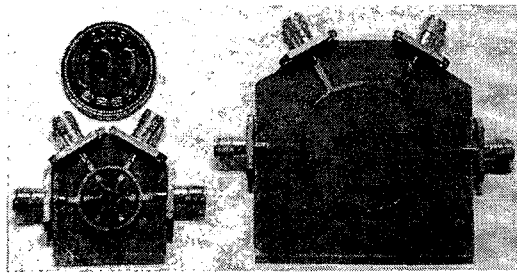
Fig. 6. Result of proposed ring-hybrid coupler (Circuit simulation)

킬 수 있었다.

그림 6은 전기적 길이 $\lambda/4$ 의 저역통과 여파기의 저지 대역과 일치하는 광대역 고조파 저지 특성을 가지는 방향성 결합기의 회로 시뮬레이션 특성으로 2.45GHz에서 커플링 대역은 일반적인 커플러와 동일한 전력분배, 임피던스 정합 및 격리 특성을 보이며 고조파 저지 대역이 11GHz까지 -20 dB 이하의 양호한 차단 특성을 가지고 있다.

3. 링-하이브리드의 제작 및 측정

본 논문에서는 비유전율(ϵ_r) 4.4 기판 두께(H)



(a) Proposed ring-hybrid (b) Conventional ring-hybrid

그림 7. 제안한 링-하이브리드 제작 및 크기 비교
 Fig. 7. The comparison between the proposed ring-hybrid and the conventional ring-hybrid

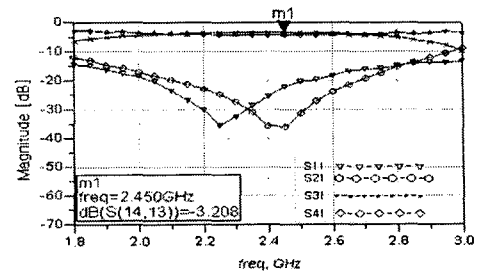
표 2. 제작한 결합기의 물리적 길이
 Table 2. Physical parameters of fabricated ring-hybrid

원의 반지름(mm)	70.7Ω 선로(mm) [$Z_{TL}(\theta_1)$]	결합선로(mm)	개방 스테르브(mm)
7.6	Width: 0.729 Length: 3.98	Width: 0.14 Space: 0.17 Length: 4.796	Width1: 0.51 Length1: 4.29 Width2: 1.35 Length2: 1.39
-	-	-	-
-	-	-	-

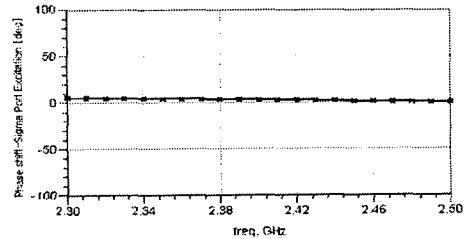
0.762mm인 FR-4 기판을 사용하여 제작하였다. 그림 7에 2.45GHz의 제안한 결합기 크기를 제작된 결합기를 통해 보여주고 있으며 일반적인 결합기와 비교하여 기존 링-면적의 약 25%로 상당히 감소되었다.

링-하이브리드의 설계변수는 표 2와 같으며, 이 수치는 최적화 과정을 통해 제작된 결합기의 물리적 길이들이다.

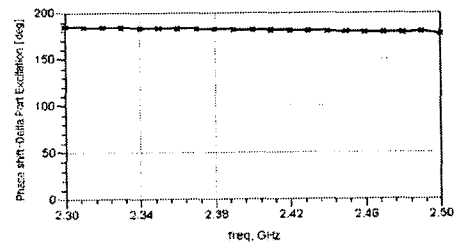
제작한 링-하이브리드의 측정결과인 그림 8은 회로 시뮬레이션 결과와 전반적으로 유사한 주파수 특성을 보여주고 있다. 그림 8의 (a)는 커플링 구간의 전력 분배, 임피던스 정합 및 격리 특성, 그림 8의 (b), (c)는 동위상과 역위상 특성을 보여주고 있다.



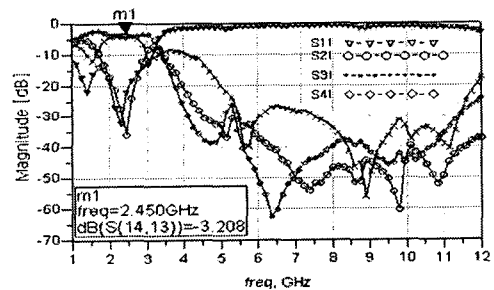
(a) Measured result (narrow band)



(b) Measured result (in-phase)



(c) Measured result (out-of-phase)



(d) Measured result (wide band)

그림 8. 제안한 링-하이브리드의 측정결과

Fig. 8. Measured results of proposed ring-hybrid

LPF 구조의 결합선로와 개방 스테르브가 원의 중

심방향으로 모이면서 고조파 특성에 영향을 미쳤다. 그래서 고조파의 저지대역 특성개선을 위해 약간의 최적화 과정 및 전체 모형을 원형으로 변환하는 과정에서 미세하게 호의 길이가 증가하면서 중심 주파수는 2.45GHz에서 2.41GHz로 내려갔다. 그림 8 (d)는 고조파 영역의 3-체배 고조파를 포함한 11GHz까지 -20dB이하의 광대역의 양호한 차단 특성을 보이고 있다.

V. 결론

링-하이브리드 방향성 결합기의 소형화 및 고조파 특성 개선을 위해 본 논문에서는 각 포트 간에 결합 선로를 이용한 등가회로의 전기적 길이 $\lambda/4$ 의 LPF를 조합하여 결합기의 크기 감소뿐만 아니라 광대역의 고조파 차단 특성도 나타내는 링-하이브리드를 제안하였다. 제안된 방향성 결합기는 중심 주파수에서 완전 정합 및 완전 분리가 가능하며, 링의 면적이 기존 것의 약 1/4로 줄었을 뿐만 아니라 3-체배 고조파를 포함한 11GHz까지 -20dB 이하로 고조파를 차단하는 우수한 특성을 보이고 있다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부의 지원에 의하여 기초전력연구원(R-2003-B-291) 주관으로 수행된 과제입니다.

[참고문헌]

- [1] 김인선, 김광수, 임종식, 안달 "개선된 저지대역을 갖는 변형된 일반화된 체비세프 저역 통과 필터 설계", 한국전자과학회논문지, 제 16호 제 11권, pp.1155-1163, 11. 2005.
- [2] Raghu K. Settaluri, G. Sundberg, A. Weisshaar, V.K. Tripathi "Compact Folded line Rat-Race Hybrid Coupler," IEEE Trans. Microwave Guide Wave Lett., Vol.10, No.2, pp.61-63, Feb. 2000.
- [3] Ming-Lin Chuang, "Miniaturized Ring

Coupler of Arbitrary Reduced Size," IEEE Microwave & Wireless Components Lett., Vol.15, No.1, pp.16-18, Jan. 2005.

- [4] Y.J Sung, C.S. Ahn, Y.-S. Kim, "Size Reduction and Harmonic Suppression of Rat-Race Hybrid Coupler Using Defected Ground Structure," IEEE Microwave & Wireless Components Lett., Vol.14, No.1, pp.7-9, Jan. 2004.
- [5] Rui Li, Dong Il Kim, "A New compact Low-pass Filter with Broad stopband and sharp skirt characteristics," IEEE APMC 2005 Proceedings.
- [6] David M. Pozar, Microwave Engineering, John Wiley & Sons, Inc. 2005.
- [7] G. L. Matthaei, et al., Microwave Filters, Impedance Matching Networks, and Coupling Structures. Artech House, pp.429-434, 1980.