

소형화 및 고조파 특성이 개선된 접힌 구조의 링-하이브리드의 설계

A Harmonic Suppressed Design of Size Reduced Ring-Hybrid Using Folded Line Structure

이 흥 섭 · 이 철 희 · 황 희 용

Hong-Seop Lee · Chul-Heui Lee · Hee-Yong Hwang

요 약

본 논문에서는 접힌 구조를 이용하여 소형화되고 고조파 특성이 개선된 링-하이브리드를 설계하였다. 제안한 구조는 링-하이브리드의 링 구조를 LPF 특성을 갖는 접힌 구조의 결합 선로를 이용하여 구성함으로써 링의 크기 감소뿐만 아니라 고조파 제거 특성도 부가하였다. 중심 주파수 2.41 GHz에서 일반적인 링-하이브리드와 같은 특성이 같고 3차 고조파를 포함한 11 GHz까지 -20 dB 이하의 저지 특성을 가지고 있다. 또한 링의 크기가 기존의 1/4 크기로 줄어들었다. 제작된 링-하이브리드의 측정된 주파수 특성 결과는 회로 및 EM 시뮬레이션 결과와 잘 일치한다.

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 2.41 GHz. Including the third harmonic frequency, up to 11 GHz band harmonics are suppressed to -20 dB. The size of the proposed ring-hybrid is reduced to one forth of the conventional ring hybrid. The measured frequency responses agree well with simulated ones.

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

I. 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 능동 소자의 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 복합기능의 필요성은 이제 당연한 과제가 되었고, 이와 같은 과제들의 돌파구를 찾기 위해 여러 가지 방안들이 연구, 발표되고 있다. 그 중에서도 마이크로 스트립 라인을 이용한 방향성 결합기의 대표적인 예는 1/4 파장 평행 선로 결합기, 1/4 파장 브랜치 라인형 결합기 및 링-하이브리드 방향성 결합기 등이 많이 이용되고 있다. 그러나, 낮은 주파수 대역에서의 일반적인 3 dB 방향성 결합기는 물리적인 크기가 너무

「본 연구는 산업자원부의 지원에 의하여 기초전력연구원(R-2003-B-291) 주관으로 수행된 과제임.」
강원대학교 IT 특성화 학부대학(College of Information Technology, Kangwon National University)

· 논문 번호 : 20060619-064

· 수정완료일자 : 2006년 7월 28일

큰 단점을 가지고 있다. 이에 따라 선로를 접거나 개방 스테르브를 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 결합 선로 형태의 저역 통과 여파기 구조를 이용하여 구성함으로써 크기를 대폭 줄일 수 있을 뿐만 아니라 부가적인 회로를 넣지 않고도 3체배 주파수에서 통과 대역이 반복되는 특성을 차단한다.

II. 링-하이브리드 설계

2-1 $\lambda/4$ 길이의 광대역 감쇠극을 가지는 저역 통과 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 체배 주파수들에서 고조파 특성이 반복된다.

이러한 고조파 특성은 차단 주파수가 f_0 를 포함하는 통과 대역 이상이고, $2f_0$ 이하인 LPF로 제거할 수가 있다. 그림 3과 같이 두 개의 전송 선로 사이에 개방 스테르브를 포함하는 결합 선로를 갖는 구조는 전

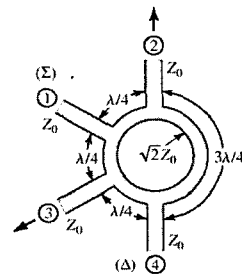


그림 1. 일반적인 링-하이브리드 방향성 결합기
Fig. 1. Conventional ring-hybrid directional coupler.

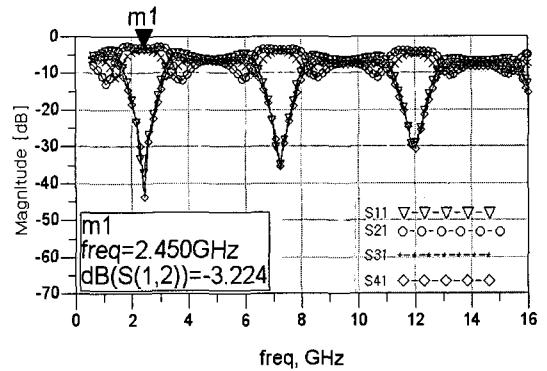


그림 2. 일반적인 링-하이브리드 방향성 결합기 특성
Fig. 2. Characteristics of conventional ring-hybrid directional coupler.

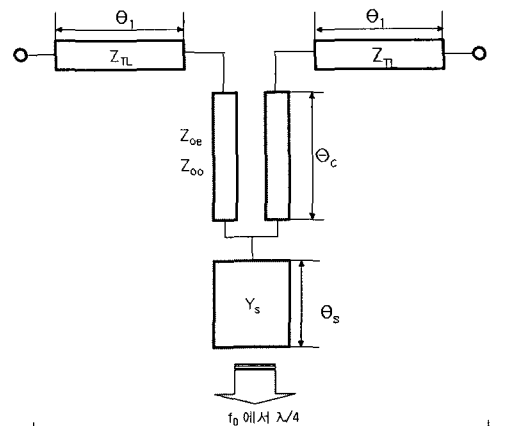


그림 3. 결합 선로를 이용한 $\lambda/4$ 길이의 저역 통과 여파기
Fig. 3. $\lambda/4$ LPF using a coupled line.

체적으로 저역 통과 여파기의 특성을 갖는다. 이 구조의 중앙에 있는 결합 선로와 개방 스테르브의 LPF

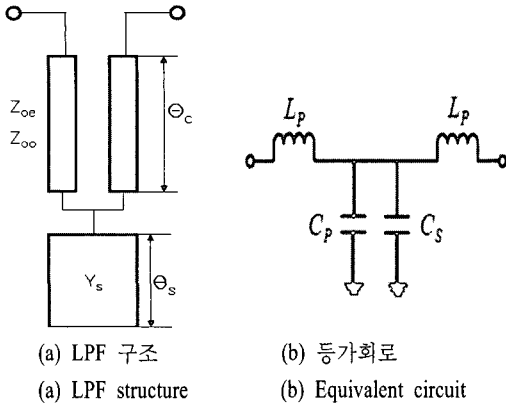


그림 4. LPF 구조의 등가회로
Fig. 4. Equivalent circuit of LPF structure.

구조의 등가 회로의 전기적 길이(θ_2)를 포함하여 양 옆에 전송 선로(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 주파수보다 높은 차단 주파수(f_c)를 가지는 LPF가 되도록 설계를 할 수 있다.

그림 4(a)의 LPF 구조에 대한 그림 4(b)의 T-형 등가회로의 각 파라미터들은 식 (1)과 같이 정리할 수 있다^[7].

$$\begin{aligned}
 C_s &= \frac{Y_s \tan(\theta_s)}{\omega} \\
 C_p &= \frac{Y_I \sin(\theta_I)}{\omega} \\
 L_p &= \frac{Z_I \tan\left(\frac{\theta_I}{2}\right)}{\omega}
 \end{aligned} \tag{1}$$

여기서,

$$\begin{aligned}
 Z_I &= \frac{1}{Y_I} = \sqrt{Z_{oe} Z_{oo}} \\
 \cos(\theta_I) &= \frac{\frac{Z_{oe}}{Z_{oo}} - \tan^2(\theta_c)}{\frac{Z_{oe}}{Z_{oo}} + \tan^2(\theta_c)}
 \end{aligned}$$

여기서, Z_{oe} , Z_{oo} 는 결합 선로의 우수-기수-모드일 때의 임피던스, θ_c 는 결합 선로의 물리적 길이, L_p 와 C_p 는 결합 선로의 T-형 등가 회로의 파라미터이고, Y_s 는 개방 스테르브의 어드미턴스, θ_s 는 스테르브의 길이, C_s 는 등가 회로의 파라미터이다. 전송 선로의 임피던스 Z_{TL} 및 LPF 구조의 등가회로 임피던스는 결합기에 바로 적용할 수 있게 70.7 옴을 사용하며, 양

옆의 전송선로의 전기적 길이 θ_1 을 포함하여 $\lambda/4$ 의 전기적 길이를 갖는 LPF 설계가 가능하다. LPF 설계 시 커플링 대역의 주파수보다 높은 차단주파수(f_c)를 가지는 LPF가 되도록 설계를 하여 커플링 주파수에 영향이 없도록 하여야 한다. 원형 소자를 이용한 차단 주파수 f_c 를 갖는 그림 4(b) 구조의 LPF와 일반적인 분산 소자와의 관계를 이용하여 결합 선로와 개방 스테르브의 물리적인 파라미터를 유도할 수 있다^{[5],[6]}. 그림 5의 2.45 GHz의 커플링 주파수보다 높은 -3 dB 차단 주파수 $f_c=4$ GHz를 갖는 고조파 저지 특성이 개선된 LPF의 특성을 얻었다. 광대역의 고조파 저지 특성을 갖는 LPF의 회로 시뮬레이션의 물리적 변수는 표 1과 같다.

일반적인 전송선로(TL)의 ABCD-행렬은 식 (2)와 같이 정의되며,

$$\begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix}_{TL} = \begin{bmatrix} \cos \theta_1 & jZ_{TL} \sin \theta_1 \\ jY_{TL} \sin \theta_1 & \cos \theta_1 \end{bmatrix} \tag{2}$$

표 1. 링-하이브리드의 물리적 길이(회로 시뮬레이션)

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

70.7 Ω 선로(mm) [$Z_{TL}(\theta_1)$]	결합 선로 (mm)	개방 스테르브 (mm)
Width: 0.729 Length: 3.81	Width: 0.14 Space: 0.17 Length: 5.69	Width 1: 0.51 Length 1: 2.165 Width 2: 0.9793 Length 2: 1.512
기판재원 ϵ_r : 4.4, h : 0.762 mm, t : 38 μ m, $\tan \delta$: 0.025		

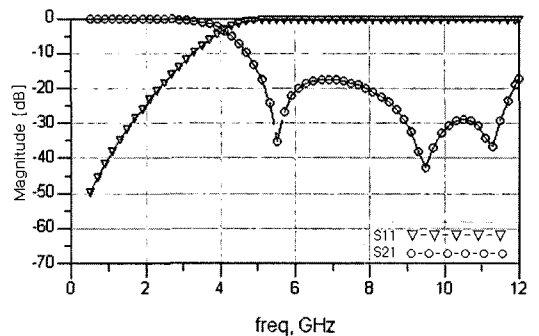


그림 5. 결합 선로를 이용한 LPF의 특성(회로 시뮬레이션)

Fig. 5. Result of using the coupled line LPF(Circuit simulation).

직렬 인덕터 및 병렬 커패시터의 ABCD-행렬은 식 (3), (4)와 같이 정의된다^[5].

$$\begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix}_{series L} = \begin{bmatrix} 1 & j\omega L \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$\begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix}_{shunt C} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ j\omega C & 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

그림 4(b)의 LPF 구조(LB)의 등가 회로에 대한 ABCD-행렬은 식 (3), (4)를 이용하여 식 (5)와 같이 유도할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix}_{LB} = \begin{bmatrix} 1 - \omega^2 L_p C_i & j\omega L_p - j\omega^3 L_p^2 C_i \\ j\omega C_i & 1 - \omega^2 L_p C_i \end{bmatrix}$$

단, $C_i = C_s + C_p$ (5)

위 식 (2)부터 식 (5)까지를 이용하여 그림 3의 제안한 $\lambda/4$ 길이의 저역 통과 여파기의 전체 ABCD-행렬(T)은 식 (6)과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} A_T & B_T \\ C_T & D_T \end{bmatrix}_T = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix}_{TL} \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix}_{LB} \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix}_{TL} \quad (6)$$

전기적 길이 $\lambda/4$ 의 저역 통과 여파기의 행렬의 파라미터들은 식 (7)과 같다.

$$\begin{aligned} A_T &= D_T = K^2 M - \omega C Z_{TL} K L + j Y_{TL} K L N - L^2 M \\ B_T &= K^2 N + j 2 Z_{TL} K L M - j \omega C Z_{TL} L^2 \\ C_T &= j 2 Y_{TL} K L M + j \omega C (K^2 - Y_{TL}^2 L^2 N) \end{aligned} \quad (7)$$

단, $K = \cos \beta_1 l_1$, $L = \sin \beta_1 l_1$, $M = (1 - \omega^2 L_p C_i)$,

$$N = (j 2 \omega L_p - j \omega^3 L_p^2 C_i)$$

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 7.8 mm로 약 55%가 줄어들었다.

2-2 LPF를 이용한 3 dB 방향성 결합기 구성

그림 3에서 설계한 전기적 길이 $\lambda/4$ 인 저역 통과 여파기를 이용하여 그림 1의 일반적인 링 방향성 결합기의 $\lambda/4$ 선로에 각각 대응시켜 그림 6과 같은 결합기의 구조를 얻었다. 이는 물리적 크기를 줄이면서 동일한 특성을 동시에 만족시킬 수 있었다.

그림 7은 전기적 길이 $\lambda/4$ 의 저역 통과 여파기의

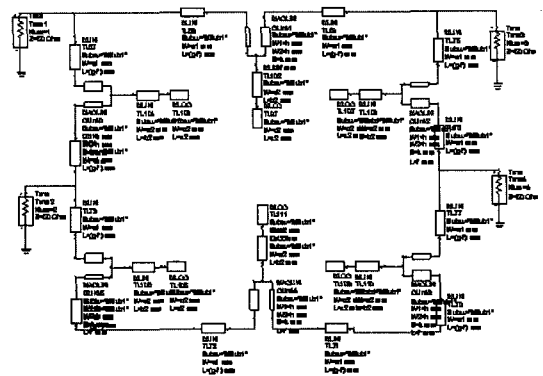


그림 6. 제안한 링-하이브리드 방향성 결합기
Fig. 6. The proposed ring-hybrid coupler.

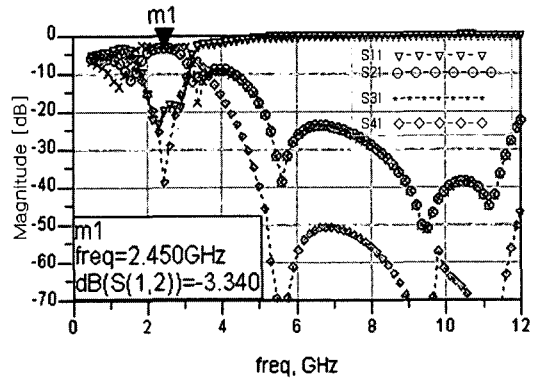


그림 7. 제안한 링-하이브리드 방향성 결합기 특성 (회로 시뮬레이션)
Fig. 7. Result of the proposed ring-hybrid coupler (Circuit simulation).

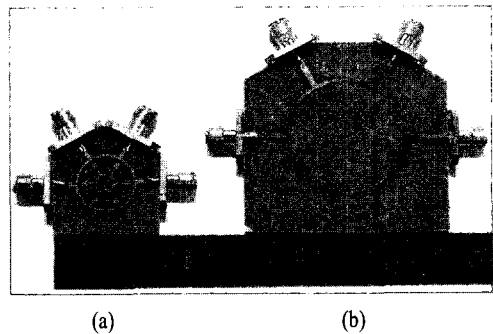


그림 8. 제안한 링-하이브리드 제작 및 크기 비교
(a) 제안한 링-하이브리드, (b) 2.45 GHz의 일반적인 링-하이브리드
Fig. 8. A comparison the proposed ring-hybrid to the conventional ring-hybrid. (a) the proposed ring-hybrid, (b) 2.45 GHz conventional ring-hybrid.

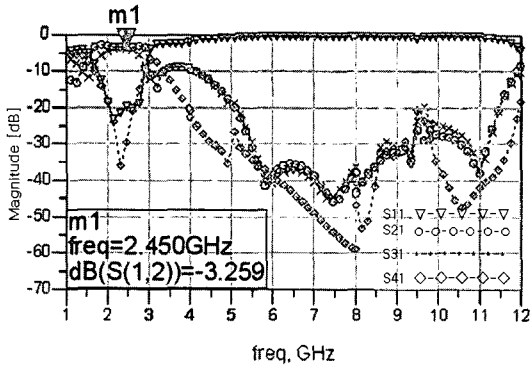
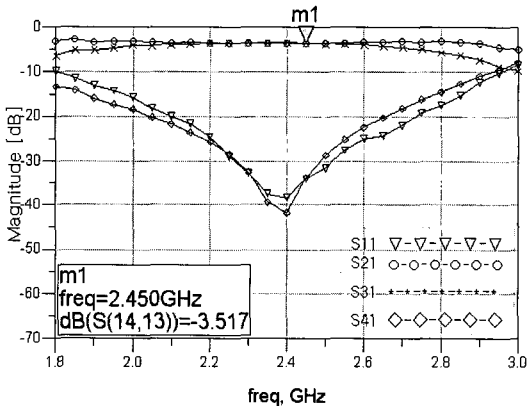


그림 9. 결합 선로를 이용한 링-하이브리드 특성(EM 시뮬레이션)
 Fig. 9. Result of the proposed ring-hybrid coupler(EM simulation).

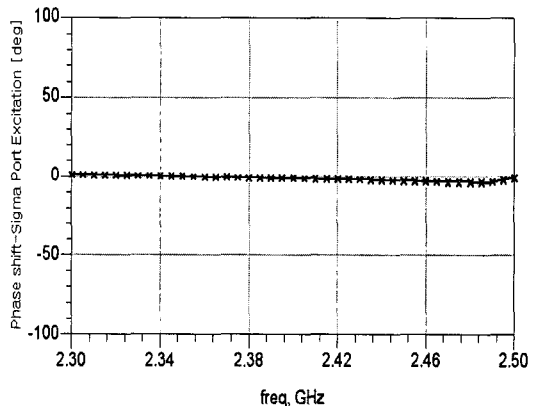
저지 대역과 일치하는 광대역 고조파 저지 특성을 가지는 방향성 결합기의 회로 시뮬레이션 특성으로 2.45 GHz에서 커플링 대역은 일반적인 커플러와 동일한 전력 분배, 임피던스 정합 및 격리 특성을 보이며 고조파 저지 대역이 11 GHz까지 -20 dB 이하의 양호한 차단 특성을 가지고 있다.

2.3 링-하이브리드의 EM 시뮬레이션 및 제작

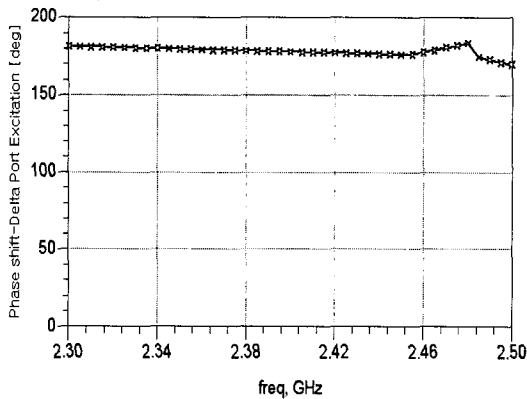
본 논문에서는 비유전율(ϵ_r) 4.4 기판 두께(H) 0.762 mm인 FR-4 기판을 사용하여 시뮬레이션 및 제작하였다. 그림 8에 2.45 GHz의 제한한 결합기 크기를 제작된 결합기를 통해 보여주고 있으며 일반적인 결합기와 비교하여 링-면적의 25 %로 상당히 감



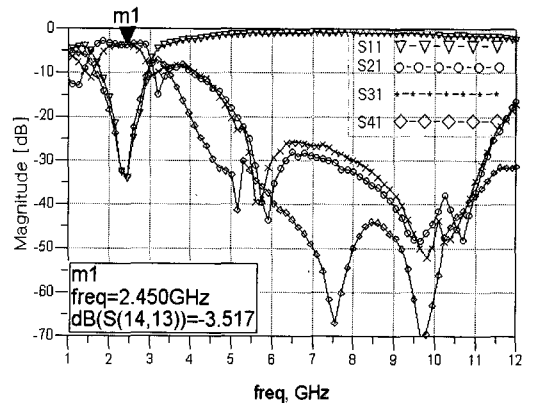
(a) 측정 결과(전력 분배 대역)
 (a) Measured result(narrow band)



(b) 측정 결과(동위상 특성)
 (b) Measured result(in-phase)



(c) 측정 결과(역위상 특성)
 (c) Measured result(out-of-phase)



(d) 측정 결과(광대역 저지대역)
 (d) Measured result(wide band)

그림 10. 제안한 링-하이브리드의 측정 결과
 Fig. 10. Measured results of the proposed ring-hybrid.

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

원의 반지름 (mm)	70.7 Ω 선로 (mm) [Z _n (θ _i)]	결합 선로 (mm)	개방 스테르브 (mm)
7.6	Width: 0.729 Length: 3.98	Width: 0.14 Space: 0.17 Length: 4.796	Width 1: 0.51 Length 1: 4.29 Width 2: 1.35 Length 2: 1.39

소되었다.

그림 9는 제안한 하이브리드 방향성 결합기의 EM 시뮬레이션 특성이다. EM 시뮬레이션의 결과에서 커플링 구간의 특성은 일반적인 커플러와 동일한 특성을 보이고 있다. 그러나 LPF 구조가 원의 중심 방향으로 모이면서 고조파 특성에 영향을 미쳤다. 그래서 고조파의 저지대역 특성 개선을 위해 약간의 최적화 과정 및 전체 모형을 원형으로 변환하는 과정에서 미세하게 호의 길이가 증가하면서 중심 주파수는 2.45 GHz에서 2.41 GHz로 내려갔다. 차단 구간은 약 11 GHz까지 -20 dB 이하의 양호한 차단 특성을 보여주고 있다. 링-하이브리드의 설계변수는 표 2와 같으며, 이 수치는 최적화 과정을 통해 제작된 결합기의 물리적 길이들이다.

제작한 링-하이브리드의 측정 결과인 그림 10은 회로 시뮬레이션 결과와 전반적으로 유사한 주파수 특성을 보여주고 있다. 그림 10(a)는 커플링 구간의 전력 분배, 임피던스 정합 및 격리 특성, 그림 10(b), (c)는 동위상과 역위상 특성을 보여주고 있다. 그림 10(d)는 고조파 영역의 3체배 고조파를 포함한 11 GHz까지 -20 dB 이하의 광대역의 양호한 차단 특성을 보이고 있다.

III. 결 론

링-하이브리드 방향성 결합기의 소형화 및 고조파 특성 개선을 위해 본 논문에서는 각 포트 간에 결합 선로를 이용한 등가 회로의 전기적 길이 λ/4의 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 3체배 고조파를 포함한 11 GHz까지 -20 dB 이하로 고조파를 차단하는 우수한 특성을 보이고 있다.

감사의 글

저자들은 연구관련 장비를 지원해주신 강원대학교 정보통신연구소에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- [1] 김인선, 김광수, 임종식, 안달, "개선된 저지 대역을 갖는 변형된 일반화된 체비셰프 저역 통과 필터 설계", 한국전자과학회논문지, 16(11), pp. 1155-1163, 2005년 11월.
- [2] Raghu K. Settluri, 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.
- [3] Ming-Lin Chuang, "Miniaturized ring coupler of arbitrary reduced size", *IEEE Microwave & Wireless Components Letters*, vol. 15, no. 1, pp. 16-18, Jan. 2005.
- [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] David M. Pozar, *Microwave Engineering*, John Wiley & Sons, Inc., 2005.
- [6] G. L. Matthaei et al., *Microwave Filters, Impedance Matching Networks, and Coupling Structures*, Artech House, pp. 429-434, 1980.
- [7] Rui Li, Dong Il Kim, "A new compact low-pass filter with broad stopband and sharp skirt characteristics", *IEEE APMC 2005 Proceedings*.

이 홍 섭



2005년 2월: 강원대학교 전기전자
정보통신공학부 (공학사)
2005년 3월~현재: 강원대학교 전
기전자공학과 석사과정
[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 조교수
[주 관심분야] RF, Microwave, Millimeter wave 분야의 부
품 및 시스템
*책임저자

이 철 희



1983년 2월: 서울대학교 전기공학
과 (공학사)
1985년 2월: 서울대학교 전기공학
과 (공학석사)
1989년 2월: 서울대학교 전기공학
과 (공학박사)
1990년 2월~현재: 강원대학교 IT
특성화학부대학 전기전자공학전공 교수
1994년~1995년: 미국 IONA 대학 방문교수
[주 관심분야] 지능형 시스템, 신호처리, 제어 시스템, RF
및 초고주파