

저역통과 여파기 감쇠를 갖는 90° 하이브리드 특성에 관한 연구

A Design of 90° Hybrid Coupler with Low Pass Filter Attenuation

이수열 · 강정훈 · 박규호* · 안 달

Su-Yeol Lee · Jung-Hoon Kang · Kyu-Ho Park* · Dal Ahn

요 약

본 논문에서는 90° 하이브리드 결합기에 저역통과 여파기 특성을 결합하여 전력분배와 하모닉 저지특성효과를 보여주고 있다. 일반적인 90° 하이브리드 결합기는 위상차를 갖고 전력을 분배, 합성하는 데에만 쓰이고 있기 때문에 비선형 소자와 결합함으로써 생기는 하모닉 성분을 억제하려면 여파기를 따로 설계해야 하는 단점이 있다. 그래서 본 논문에서는 90° 하이브리드 결합기에 저역통과 여파기 특성을 결합함으로써 위상차와 전력분배는 물론 여파기 특성인 감쇠효과를 이용하여 하모닉 성분을 크게 감소시킬 수 있는 구조를 제시하였다.

Abstract

In this paper, a 90° hybrid coupler with both power division and harmonic rejection characteristics is presented by applying a LPF characteristic to a conventional 90° hybrid. Since a conventional 90° hybrid coupler operates as a power divider/combiner using phase difference, it does not suppress higher order harmonics when it is incorporated with nonlinear amplifier. This requires an additional filter to take into account of the harmonics. The proposed 90° hybrid coupler power provides the division capability and proper phase difference, as well as harmonic suppression characteristic by integrating LPF characteristic.

Key words : 90° Hybrid Coupler, Low Pass Filter

I. 서 론

송·수신 시스템에 사용되고 있는 90° 하이브리드 결합기는 위상차를 이용한 전력 분배 또는 합성시키는 동작뿐만 아니라 비선형 소자와 결합하여 신호를 인가하거나 출력신호를 더해주는 역할을 하고 있다^[1]. 그러나 비선형 소자와 결합함으로써 비선형 소자에 의해 생기는 하모닉이 문제가 될 수 있다. 비선형 소자의 비선형성으로 인해 생기는 하모닉 성분을 제거하기 위해서는 저역통과 여파기를 종속 연결하는 형태의 설계가 이루어지고 있는데 이것은 부품의 크기가 증가하는 결과로 나타나게 된다. 본 논문

에서는 90° 하이브리드 결합기의 전송선로에 저역통과 여파기의 이론을 적용해서 전력분배와 동시에 하모닉 성분이 나타나는 2f₀와 3f₀에서의 감쇠특성을 연구를 하였다.

설계 주파수는 2 GHz로 90° 하이브리드 결합기에 결합한 저역통과 여파기는 5단과 3단, 5단과 5단의 결합에 대한 시뮬레이션과 설계를 하였고 일반적인 90°하이브리드 결합기 파형과 저역통과 여파기를 결합한 90°하이브리드 결합기 파형을 비교하였고 제시된 90°하이브리드 결합기가 하모닉 성분이 나타나는 2f₀와 3f₀에서 여파기의 차단특성에 의해 하모닉 성분이 감소됨을 보였다.

「본 연구는 지역전략산업 석·박사 연구인력 양성사업의 연구결과로 수행되었음.」

순천향대학교 정보기술공학부(Division of Information Technology Engineering, Soonchunhyang Univ.)

*전자부품연구원 무선회로 연구센터(Korea Electronics Technology Institute Wireless Communication Research Center)

· 논문 번호 : 20031115-10S

· 수정완료일자 : 2003년 12월 31일

II. 설계 이론

그림 1은 일반적인 90° 하이브리드 결합기의 구조를 보여주고 있다. 여기서 90° 하이브리드 결합기 자체의 전력분배 특성뿐만 아니라 하모닉 제거 특성을 나타내기 위하여 특성 임피던스인 $\lambda/4$ 전송선로를 저역통과 여파기로 변환하여 설계하였다.

그림 2는 90° 하이브리드 결합기 전송선로를 저역통과 여파기로 변환하는 부분을 나타낸 것이다.

90° 하이브리드 결합기 특성임피던스 부분의 $\lambda/4$ 전송선로를 저역통과 여파기로 구현하는 과정은 다음과 같다. 먼저 여파기를 결합하기 전에 그림 3과 같이 특성임피던스를 바라보는 입력 임피던스에 대해 값을 구하고 그 구한 입력임피던스를 부하임피던스로 보고 반사계수에 대한 값과 반사계수로부터

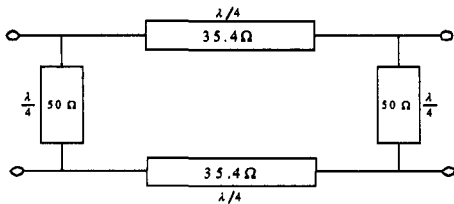


그림 1. 일반적인 구조의 3 dB 90° 하이브리드 결합기
Fig. 1. Conventional 3-dB 90° hybrid coupler.

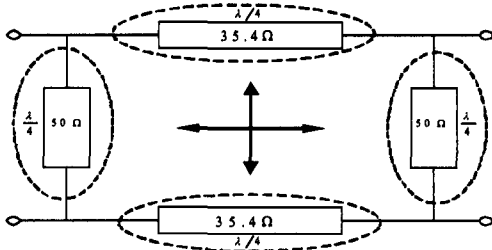


그림 2. 저역통과 여파기로 변환하는 부분
Fig. 2. Transmission lines transformed to low pass filters.

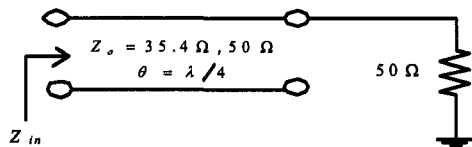


그림 3. 삽입손실과 반사손실을 구하기 위한 등가회로
Fig. 3. Equivalent circuit for solving an insertion loss and a reflection coefficient.

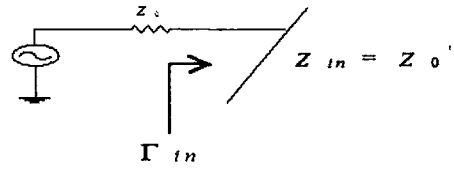


그림 4. Γ_{in} 을 구하기 위한 등가 회로
Fig. 4. Equal circuit to solve Γ_{in} .

구한 값으로 $\lambda/4$ 의 길이에 맞는 삽입손실과 S_{11} 을 구할 수 있다^{[2],[3]}.

$$Z_{in} = Z_0 \frac{Z_L + jZ_0 \tan \theta}{Z_0 + jZ_L \tan \theta} = \frac{Z_0^2}{Z_L} \quad (1)$$

식 (1)에서 구한 입력임피던스를 특성임피던스로 놓고 Γ_{in} 을 구하여 삽입손실과 반사손실을 얻게 된다. 그림 4는 입력임피던스를 특성임피던스로 보고 Γ_{in} 을 구하기 위한 그림이다^[2].

$$|\Gamma_{in}| = \left| \frac{Z_{in} - Z_0}{Z_{in} + Z_0} \right| \quad (2)$$

$$P_{LR} = \frac{\text{Power available from source}}{\text{Power delivered to load}} = \frac{P_{inc}}{P_{Load}} = \frac{1}{1 - |\Gamma(\omega)|^2} \quad (3)$$

$$\text{Insertion Loss} = 10 \log P_{LR} \quad (4)$$

$$S_{11}(dB) = 10 \log |S_{11}|^2 \quad (5)$$

식 (4)와 식 (5)에서 계산한 삽입손실과 반사손실의 조건을 이용해 원하는 여파기를 설계할 수 있다. 시뮬레이션을 이용하여 계산한 삽입손실과 반사손실의 조건으로 설계 주파수인 2 GHz에서 사용할 수 있는 저역통과 여파기를 그림 5와 그림 6은 같은 구조로 구현할 수 있다^{[2],[4],[5]}.

위와 같은 구조로 5단 저역통과 여파기를 설계하였는데 차단주파수는 4 GHz이고 Π 형 구조로 설계

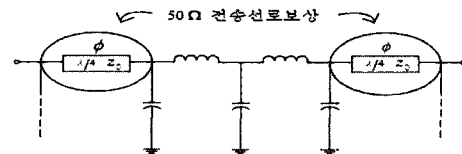


그림 5. 35.4 Ohm 전송선로를 대체할 저역통과 여파기 구조와 전송선로 보상
Fig. 5. Low pass filter structure with phase compensation for the 35.4 Ohm transmission line in conventional hybrid.



그림 6. 50 Ω 전송선로를 대체할 저역통과 여파기 구조와 전송선로 보상
 Fig. 6. Low pass filter structure with phase compensation for the 50 Ω transmission line in conventional hybrid.

표 1. 저역통과 여파기 설계 조건
 Table 1. Parameters of the low pass filters.

	35.4 Ω 전송선로	50 Ω 전송선로
Z_{in}	25 Ω	33.3 Ω
Γ_{in}	0.33	0.385
$I \cdot L$	-0.5 dB	-0.7 dB
$S_{11}(dB)$	-9.54 dB	-8.29 dB

하였다. 그림 5는 $\lambda/4$ 전송선로인 90° 하이브리드 결합기에 구현한 저역통과 여파기를 결합하면서 특성 임피던스를 유지하고 $\lambda/4$ 가 되도록 50 Ω 전송선로로 보상(ϕ)해 준 것을 나타낸다.

그림 6은 90° 하이브리드 결합기 특성임피던스 50 Ω 전송선로를 저역통과 여파기로 결합하면서 75 Ω 임피던스를 갖는 전송선로로 보상(θ)을 해 준 것을 나타낸다. 여기서 75 Ω으로 특성임피던스를 사용한 것은 특성임피던스 50 Ω으로는 삽입손실과 반사손실을 구할 수 없기 때문에 특성임피던스를 75 Ω으로 정하고 그 특성임피던스를 50 Ω으로 계산해 준 것이다. 따라서 설계주파수인 2 GHz에서는 기본적인 전력 분배특성을 나타낼 수 있고, 동시에 2%와 3% 주파수에서는 제시된 저역통과 여파기 구조의 감쇠특성에 의하여 하모닉 성분을 감소시킬 수 있다.

III. 시뮬레이션 및 제작

그림 7은 일반적인 구조의 3 dB 전력분배를 갖는 90° 하이브리드 결합기의 시뮬레이션 특성이다. 이에 반해 그림 8과 그림 9는 그림 5와 그림 6에서 제시한 구조의 시뮬레이션 특성이다. 시뮬레이션 툴은 Ansoft의 Designer를 이용하였다.

그림 8과 그림 9에 나타났듯이 본 논문에서 제시

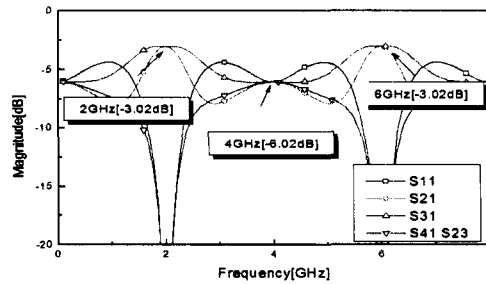


그림 7. 일반적인 90° 하이브리드 결합기 특성
 Fig. 7. Conventional 90° hybrid coupler.

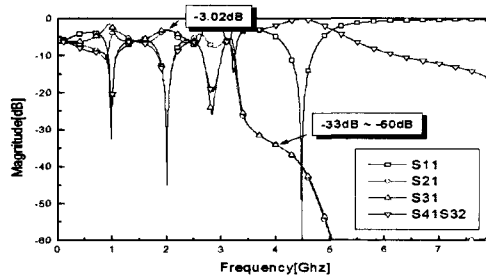


그림 8. 90° 하이브리드 결합기와 여파기 5단과 3단 결합 시뮬레이션
 Fig. 8. Simulation of proposed 90° hybrid coupler with five-pole and three-pole filter characteristic.

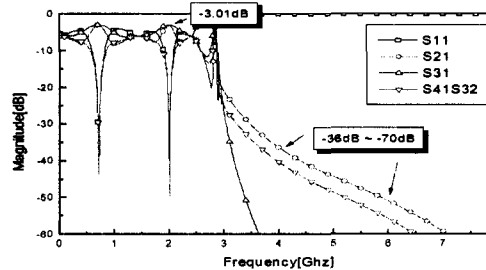


그림 9. 90° 하이브리드 결합기와 여파기 5단과 5단 결합 시뮬레이션
 Fig. 9. Simulation of proposed 90° hybrid coupler with five-pole and five-pole filter characteristic.

한 90° 하이브리드 결합기에 저역통과 여파기를 결합한 구조는 기존의 90° 하이브리드 결합기 특성인 3 dB 전력분배의 특성을 유지하고, 2%와 3%인 4 GHz, 6 GHz 주파수에서 각각 30 dB, 50 dB 이상의 감쇠특성을 나타내었다.

위의 시뮬레이션을 이용하여 삽입손실과 반사손

실 조건으로 설계한 여파기를 90° 하이브리드 결합기에 결합하여 저역통과 여파기를 5단과 3단과 5단과 5단으로 구현한 90° 하이브리드 결합기를 설계 및 제작하였다. 제작은 분포소자를 사용하였다. 사용된 기판은 Rogers RT/duroid의 유전율 2.2에 기판 두께 0.7874 mm를 사용하였다. 저역통과 여파기는 분포소자로 구현되었다. 그림 10과 그림 11은 제시된 구조의 주파수 응답 특성을 측정된 결과이다.

각 포트의 삽입손실은 -3.3 dB(그림 10)와 -3.4 dB(그림 11)를 나타내었다. 또한 하모닉 주파수에서는 시뮬레이션에서 예측한 것과 유사하게 2 f_0 와 3 f_0 에서 각각 33 dB 이상의 하모닉 억제 특성을 얻었다. 그림 12는 5단과 3단, 5단과 5단의 여파기를 적용한 90° 하이브리드 결합기의 출력포트 위상 차를 측정된 결과이다. 중심주파수에서 출력 포트간의 위상차는 $\pm 2^\circ$ 이며 통과대역에서는 위상차와 전력분배가 잘 이루어지며 하모닉 성분을 효과적으로 제거할 수

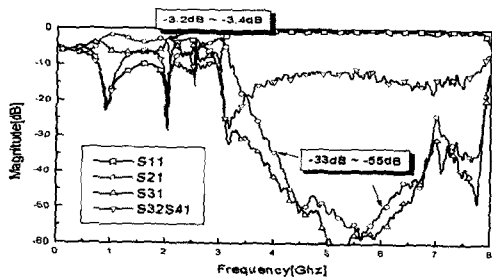


그림 10. 90° 하이브리드 결합기와 여파기 5단과 3단 결합한 S_{11} , S_{21} , S_{31} , S_{41} , S_{32} 측정 결과
Fig. 10. Measurement results(five-pole and three-pole case).

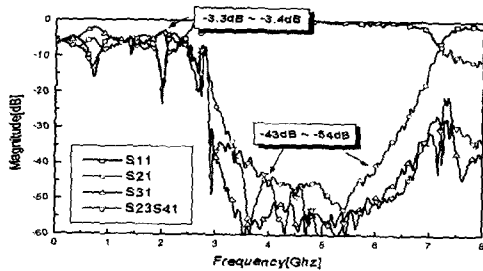
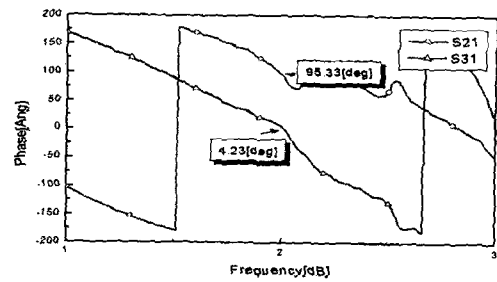
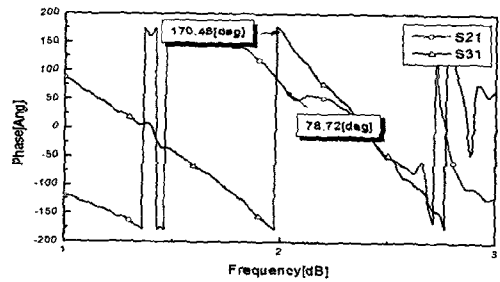


그림 11. 90° 하이브리드 결합기와 여파기 5단과 5단 결합한 S_{11} , S_{21} , S_{31} , S_{41} , S_{32} 측정 결과
Fig. 11. Measurement results(five-pole and five-pole case).

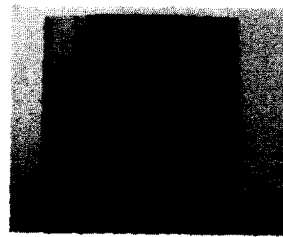


(a) 여파기 5단과 3단
(a) five-pole and three-pole

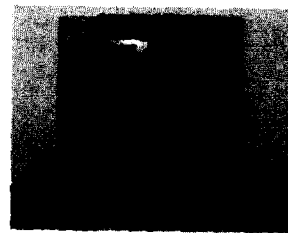


(b) 여파기 5단과 5단
(b) five-pole and five-pole

그림 12. 출력 포트의 위상 특성
Fig. 12. Measured phase characteristics.



(a) 여파기 5단과 3단을 결합
(a) The photograph of five-pole and three-pole



(b) 여파기 5단과 5단을 결합
(b) The photograph of five-pole and five-pole

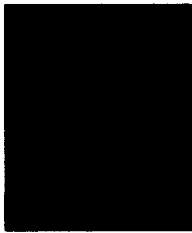
그림 13. 90° 하이브리드 결합기와 저역통과 여파기를 결합한 실제 사진을
Fig. 13. The photograph of 90° hybrid coupler combined with low pass filter.

있는 구조임을 알 수 있다.

IV. 결 론

본 논문에서는 일반적인 구조의 90° 하이브리드 결합기 특성을 유지하며 하모닉 성분을 제거할 수 있는 구조를 제시하였다. 하모닉 제거를 위해 특성 임피던스 35.4 Ω과 50 Ω의 λ/4 전송선로를 저역통과 여파기로 구현하였다. 또한 제시된 구조의 설계식을 일반적인 90° 하이브리드 결합기의 설계식에 여파기 이론을 적용하여 새로운 설계식을 유도하였다. 설계된 하모닉 제거용 90° 하이브리드 결합기는 시뮬레이션과 측정 결과가 비교적 잘 일치하였고 제시된 구조의 결합기는 통과대역에서는 3 dB 전력분배와 90° 위상차를 잘 유지했으며 동시에 하모닉 성분을 33 dB 이상을 억제하는 효과를 얻을 수 있었다.

이 수 열



2002년: 순천향대학교 전자공학과 (공학사)
 2002년~현재: 순천향대학교 전자공학과 석사과정
 [주 관심분야] 마이크로파 수동소자 설계 및 개발

강 정 훈

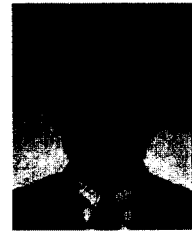


2003년: 순천향대학교 전자공학과 (공학사)
 2003년~현재: 순천향대학교 전자공학과 석사과정
 [주 관심분야] 마이크로파 수동소자 및 능동소자 설계

참 고 문 헌

- [1] Jong-Sik Lim, Ho-Sup Kim, Jun-Seok Park, Dal Ahn and Sangwook Nam, "A Power Amplifier with Efficiency Improved Using Defected Ground Structure", *IEEE Microwave and Wireless Components Lett*, vol. 11, no. 4, pp. 170-172, Apr. 2001.
- [2] David M. Pozar, *Microwave Engineering*, John Wiley & Sons, pp. 379-383, 1998.
- [3] J. A. G. Malherbe, *Microwave Transmission Line Couplers*, Artech House, pp. 17-51, 1988.
- [4] Robert E. Collin, *Foundations for Microwave Engineering*, McGraw-Hill, pp. 305-318, 1992.
- [5] G. L. Matthaei, L. Young and E. M. T. Jones, *Microwave Filters, Impedance-matching Networks, and Coupling Structures*, Artech House, pp. 83-134, 1980.

박 규 호



1988년 2월: 서강대학교 전자공학과 (공학사)
 1995년 7월~1997년 8월: 서강대 대학원 전자공학과 (공학석사)
 2001년 2월~현재: 서강대학교 대학원 전자공학과 박사과정
 1987년 12월~1994년 7월: 금성통신(현 LG 전자)연구소 대리
 1994년 8월~1995년 7월: (주)홍창연구소 선임연구원
 1996년 2월~1996년 12월: KMW(주)연구소 선임연구원
 1997년 7월~현재: 전자부품연구원 무선회로 연구센터 책임 연구원
 [주 관심분야] 고출력 증폭기(LPA, HPA), PBG, DGS를 이용한 RF 부품연구, 이동통신용 세라믹 필터

안 달



1990년: 서강대학교 전자공학과 (공학박사)
 1990년~1992년: 한국전자통신연구소 선임연구원
 1992년~현재: 순천향대학교 정보기술공학부 교수
 [주 관심분야] RF, 마이크로파 수동소자 해석 및 설계 등