

고조파 억압을 위한 접힌 피드 구조를 갖는 SIR CPW 대역통과 여파기

SIR CPW Bandpass Filter with Folded Feed Structure for Suppressing Spurious Harmonics

박광선 · 이창언 · 천동완 · 이진택 · 신철재

Kwang-Sun Park · Chang-On Lee · Dong-Wan Chun · Jin-Taek Lee · Chull-Chai Shin

요 약

본 논문에서는 SIR CPW 대역통과 여파기의 고조파 억압을 위한 접힌 피드 구조를 제안하였고 이를 이용해 SIR CPW 대역통과 여파기를 설계하였다. 제안된 접힌 피드 구조는 넓은 저지대역을 갖는 저역통과 여파기의 특성을 보이며, CPW 대역통과 여파기에서 고조파 억압에 매우 유용하게 이용될 수 있다. 시뮬레이션 및 측정결과 접힌 피드 구조를 갖는 SIR CPW 대역통과 여파기는 $5.8 f_0$ 까지 -20 dB 이하로 고조파를 억압하는 우수한 특성을 보임을 알 수 있었다.

Abstract

In this paper, we have proposed the folded feed structure for the spurious harmonic suppression and we have designed the SIR CPW bandpass filter using this feed structure. The characteristic of the proposed feed structure was similar to that of the lowpass filter has wide stopband region and this can be used usefully to the spurious harmonic suppression of the bandpass filter. From the simulation and the measurement result, SIR CPW bandpass filter with folded feed structure has good harmonic suppression characteristics up to $5.8 f_0$ with -20 dB suppression level.

Key words : SIR, Feed Line, Spurious Frequency, Out-of-band

I. 서 론

CPW(Coplanar Waveguide) 구조는 접지면이 신호선과 동일평면상에 있어 via나 short stub 등을 쉽게 구현할 수 있을 뿐만 아니라, FET나 BJT와 같은 반도체의 실장이 용이하여 관심을 받고 있는 구조이다. 대역통과 여파기는 마이크로파 통신 시스템에 있어 필수적인 부품이며 CPW 구조에서도 대역통과 여파기의 연구가 다양하게 이루어져 왔다^{[1]~[4]}. 최근에는 CDMA, PCS, Bluetooth나 UMTS 같은 다양한 통신 서비스가 개발되고, 장래에는 더 많은 통신 서비스가 다양한 주파수 대역에서 이루어지리라 사료

된다. 따라서, 이로 인해 인접한 통신 서비스 및 서비스 내에서 인접채널간의 간섭 등의 현상이 점차 심하게 된다. 따라서, 인접 채널간의 혼선을 막고자 최근에는 서비스 대역 이외의 대역에서 고조파 성분을 억압하는 여파기가 필요하게 되었으며 이에 대한 연구가 많이 진행되었다^{[1],[5]}.

이러한 연구들 중에 하나로 고조파 성분을 막기 위하여 최근에는 고조파 성분을 고주파 영역으로 옮기는 SIR(Stepped Impedance Resonator) 형태의 여파기들이 소개되어 왔다^{[5]~[7]}. 이러한 SIR 형태의 여파기들은 주로 임피던스의 비율인 Z_H/Z_L 에 의해 고조파의 억압대역이 결정된다. 그러나, 이러한 SIR 형태

아주대학교 전자공학과(Department of Electronics Engineering, Ajou University)

· 논문 번호 : 20031115-07S

· 수정완료일자 : 2003년 12월 29일

의 여파기는 임피던스 비율을 임의로 조절하기에는 제작 여건상의 한계가 있으며, 따라서 보다 넓은 대역에서의 고조파 성분을 제거하기 힘든 단점이 있다. 이러한 문제를 해결하고자 일부 응용에서는 접지면에 slot을 뚫어 높은 임피던스를 얻어 임피던스 비율을 높이기도 하였다^[1]. 이러한 방식은 마이크로 스트립 형태의 전송구조에서 가능한 방식으로 CPW 전송구조에서는 다른 방식이 요구된다.

본 논문에서는 고조파를 억압하는 접힌 피드 구조를 가진 SIR 형태의 CPW 대역 통과 여파기를 제안하였다. 피드 구조는 접힌 구조로 하여 저역 통과 여파기의 기능을 갖도록 하였다. 여파기 설계시 기존의 대역 통과 여파기 설계기법을 동일하게 적용할 수 있다. 설계된 3폴 CPW 대역 통과 여파기는 2.3 GHz의 중심주파수에서 10% 대역폭을 가지면서 $5.8 f_0$ 까지의 대역에서 고조파 성분을 -20 dB 이하로 억압하는 특성을 보였다.

II. SIR 형태의 CPW 대역 통과 여파기

일반적으로 고조파 성분을 고주파 영역으로 이동시키는 SIR 형태의 여파기들이 마이크로 스트립 구조에서 다양하게 연구되어 왔다^{[5]-[7]}. 이러한 SIR 형태의 기본 원리는 CPW 구조에서도 그대로 응용될 수 있다.

그림 1은 CPW에서 구현된 SIR 형태의 대역 통과 여파기를 나타낸다. 접힌 스티브를 가지는 공진기는 edge coupled 영역에서 낮은 임피던스를 가지며 가운데 부분에서는 접지면과의 거리가 멀어지므로 높은 임피던스를 가진다^[6]. 따라서, 이러한 임피던스의 비로 인하여 SIR 형태의 공진기로 동작하게 되며, 그

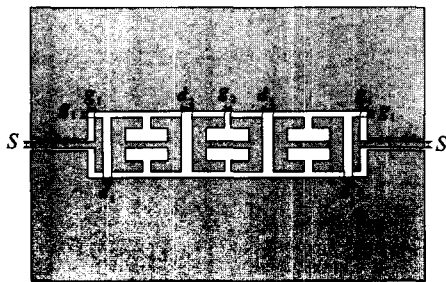


그림 1. SIR 형태의 CPW 대역 통과 여파기
Fig. 1. SIR typed CPW bandpass filter.

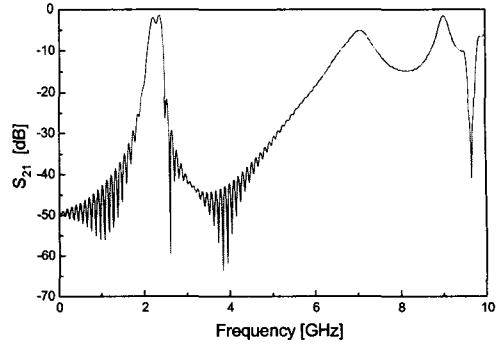


그림 2. SIR 형태의 CPW 대역 통과 여파기의 시뮬레이션 결과
Fig. 2. Simulation result of SIR typed CPW bandpass filter.

림 2에서 이것을 확인할 수 있다.

그림 2는 FIM(Finite Integration Method) 방식을 이용한 CTS사의 Microwave Studio(ver. 4.0)를 사용하여 시뮬레이션한 SIR 형태의 CPW 대역 통과 여파기의 결과이다. 설계에는 비유전율 $\epsilon_r=10.2$ 이며 두께 $h=1.27$ mm인 duroid 기판이 사용되었으며, 설계 변수는 $S=1.2$ mm, $d_1=0.2$ mm, $d_2=3.0$ mm, $g_1=0.5$ mm, $g_2=0.8$ mm, $l=10$ mm, $W=2$ mm이다. 설계된 SIR 형태의 CPW 대역 통과 여파기는 중심주파수 $f_0=2.3$ GHz이고 10%의 대역폭을 가지며 -20 dB를 기준으로 $3 f_0$ 까지 저지대역을 형성한다. 이러한 저지 대역은 임피던스의 비를 높임으로 일정한 대역까지는 가능하다^[8].

III. 접힌 피드 구조

3-1 피드 구조 해석

CPW 구조에서 임피던스 비율을 높이기 위해선 제작 공정상의 많은 어려움이 있다. 따라서 이러한 임피던스 비율이 아닌 다른 방식으로 저지 대역에서 효과적인 억압을 할 필요가 있다. 제안된 피드 구조는 SIR 형태의 CPW 대역 통과 여파기의 고조파가 나타나는 영역에서 우수한 저지 특성을 갖는 저역 통과 여파기의 역할을 한다. 먼저 제안된 피드 구조를 분석하기 위해 일반적인 2포트 네트워크의 분석에 사용되는 ABCD 파라미터를 이용하고자 한다^[9]. 그림 3과 같이 디임베딩(Deembedding)을 하기 위해 구조

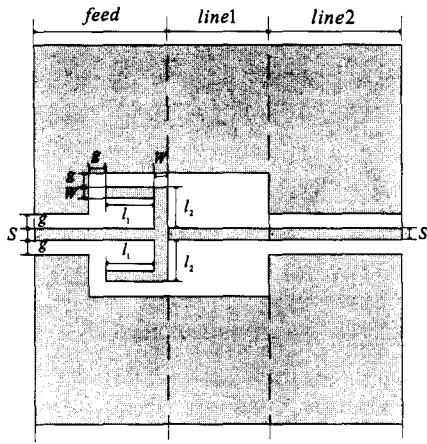


그림 3. 접힌 피드 구조
Fig. 3. Folded feed structure.

를 세 부분으로 나누었다. 설계변수는

$$\begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix}_{Total} = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix}_{feed} \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix}_{line1} \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix}_{line2} \quad (1)$$

$S=1.2$ mm, $g=0.5$ mm, $W=2$ mm, $l_1=4.2$ mm, $l_2=4.4$ mm이다. 각각의 ABCD 행렬 및 전체부분의 ABCD 행렬을 접힌 피드 부분의 행렬을 미지수로 하여 방정식으로 나타내면 식 (1)과 같다. 그리고 피드 부분의 행렬을 계산하기 위해 먼저 전체구조를 Microwave studio를 이용해 시뮬레이션하여 산란계수를 추출한 후 전체의 ABCD 행렬을 계산하고 나머지 line1, line2 부분을 시뮬레이션하여 각각의 ABCD 행렬을 계산하였다. 순수한 피드 부분만의 특성은 역행렬의 곱을 통해 계산할 수 있다. 이렇게 구한 피드 구조만의 ABCD 파라미터를 다시 산란계수

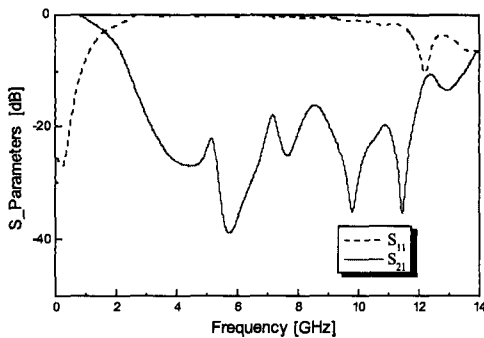


그림 4. 접힌 피드 구조의 디임베딩 결과
Fig. 4. Deembedding result of the folded feed structure.

로 변환하였다. 그림 4는 위의 방법에 의해 계산된 피드 구조만의 산란계수 특성을 나타내며 넓은 저지대역을 갖는 저역통과 여파기의 특성을 보임을 알 수 있다.

3-2 접힌 피드 구조의 최적화

접힌 피드 구조를 스템브의 길이 l_1 과 폭 W 를 변화시키면서 최적화 하였다. 그림 5는 피드 구조에서 폭 $W=1.2$ mm로 고정하고 l_1 을 2 mm씩 변화시켰을 때의 특성을 나타낸다. l_1 을 감소시킬수록 차단주파수가 높아지고 저지대역이 줄어들며 l_1 을 증가시킬수록 차단주파수가 낮아지고 대략 $3f_0$ 와 $5f_0$ 에서 고조파가 증가한다. 그러므로 고조파 성분을 -20 dB 이하로 억압하며 넓은 저지대역을 갖기 위해 적당한 길이를 선택해야 한다. 따라서, 반복적인 시뮬레이션을 통해 스템브의 길이 l_1 을 4.2 mm로 결정하였다.

그림 6은 접힌 피드 구조에서 스템브의 길이 $l_1=4.2$ mm로 고정하고 스템브의 폭 W 를 1 mm씩 변화시켰을 때 특성을 나타낸다. 스템브의 폭을 감소시킬수록 차단주파수는 조금씩 높아지며 대략 $3f_0$ 에서 고조파 성분이 증가한다. 반면에 폭을 증가시킬수록 차단주파수는 조금씩 낮아지며 저지대역이 줄어든다. 그러므로 고조파 성분을 -20 dB 이하로 억압하며 넓은 저지대역을 갖도록 반복적인 시뮬레이션을 통해 스템브의 폭 W 를 1.2 mm로 결정하였다.

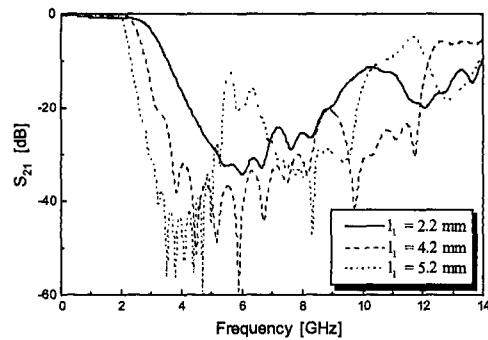


그림 5. 접힌 피드 구조에서 스템브의 길이(l_1)의 변화에 따른 S_{21} 특성
Fig. 5. S_{21} Characteristics by the stub length(l_1) variation in folded feed structure.

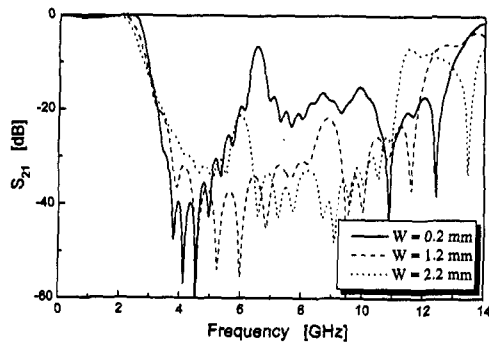


그림 6. 접힌 피드 구조에서 스텐브의 폭(W) 변화에 따른 S_{21} 특성
 Fig. 6. S_{21} Characteristics by the stub width(W) variation in folded feed structure.

IV. 접힌 피드 구조를 갖는 CPW 대역통과 여파기 설계 및 제작

그림 7은 제안된 접힌 피드 구조를 갖는 CPW 대역통과 여파기이다. 여기서 $l = 4.2$ mm를 제외한 설계변수와 기판은 그림 1에서 설계한 여파기와 동일하다. 그림 8은 기존의 SIR 형태 CPW 대역통과 여파기와 접힌 피드 구조를 갖는 CPW 대역통과 여파기의 시뮬레이션 결과를 비교하여 나타낸 그림이다. 저역통과 기능을 가지는 접힌 피드 구조를 삽입함으로써 기존의 구조보다 $2.5 f_0$ 더 향상된 고조파 억압 특성을 가짐을 알 수 있다.

또한 그림 8에서 보는 바와 같이 제안된 대역통과 여파기는 기존의 여파기와 마찬가지로 중심주파수 $f_0 = 2.3$ GHz이며 10% 대역폭을 가짐을 알 수 있다.

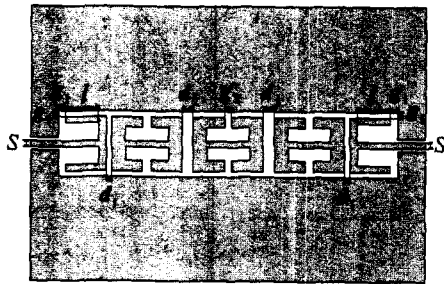


그림 7. 접힌 피드 구조를 갖는 CPW 대역통과 여파기
 Fig. 7. A CPW bandpass filter with folded feed structure.

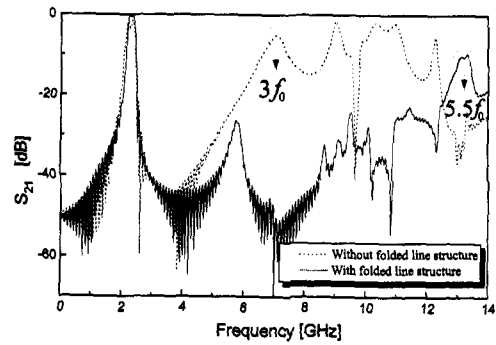


그림 8. SIR CPW 대역통과 여파기와 접힌 피드 구조를 갖는 대역통과 여파기의 시뮬레이션 결과 비교
 Fig. 8. A comparison of a simulated result of SIR CPW bandpass filter and folded feed structure bandpass filter.

또한 대역통과 여파기의 통과 대역 특성은 피드 구조에서 스텐브가 없을 때와 비교하여 대역폭 및 삽입 손실에 거의 차이가 없이 동일한 특성을 보인다. 따라서 제안된 피드 구조가 고조파 성분의 억압에 매우 유용함을 알 수 있다.

그림 9는 효과적인 피드 구조를 이용한 CPW 대역통과 여파기의 제작된 사진을 나타내며, 제작된 여파기의 특성은 HP 8510C Vector Network Analyzer를 이용하여 측정되었다. 그림 10에 시뮬레이션과 측정된 결과를 비교하여 나타내었다. 측정된 결과는 $5.8 f_0$ 까지 -20 dB 이하로 고조파 성분을 억압하며, 시뮬레이션 결과와 매우 유사한 특성을 보임을 알 수 있었다.



그림 9. 제작된 접힌 피드 구조를 갖는 SIR CPW 대역통과 여파기
 Fig. 9. Fabricated SIR CPW bandpass filter with folded feed structure.

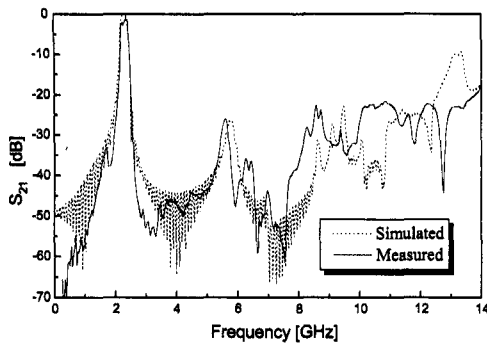


그림 10. 접힌 피드 구조를 갖는 CPW 대역통과 여파기의 시뮬레이션과 측정결과 비교
Fig. 10. A comparison of a simulated & measured result of CPW bandpass filter with folded feed structure.

V. 결 론

본 논문에서는 고조파 성분을 제거하기 위해 널리 이용되는 SIR 형태의 대역통과 여파기를 CPW 형태로 구현하였다. 그리고, 넓은 저지대역을 갖기 위한 효과적인 피드 구조를 제안하여 SIR 형태의 CPW 대역통과 여파기에 응용하였다. 제작된 접힌 피드 구조를 갖는 CPW 대역통과 여파기는 중심주파수 $f_0=2.3$ GHz에서 $5.8 f_0$ 까지 -20 dB 이하로 고조파를 억압하며 넓은 저지대역을 형성하였다.

참 고 문 헌

[1] Cedric Quendo, Eric Rius, Christian Person and Michel Ney, "Integration of Optimized Low-Pass Filters in a Bandpas Filter for Out of Band Improvement", *IEEE Trans. Microwave Theory*

Tech., vol. 49, no. 12, pp. 2376-2383, Dec. 2001.
[2] K. Hettak, G. Delisle, "A New Miniature Uniplanar Lowpass filter using series resonators", *IEEE MTT-S Digest.*, pp. 1193-119, 1998.
[3] Jiafeng Zhou, M. J. Lancaster and F. Huang, "Compact superconducting coplanar meander line filters", *Electronics Letters*, vol. 39, no. 8, pp. 665-667, Apr. 2003.
[4] George E. Ponchak, Linda P. B. Katehi, "Open- and Short-Circuit Terminated Waveguide on Silicon", *IEEE Trans. Series Stubs in Finite-Width Coplanar Microwave Theory Tech.*, vol. 45, no. 6, pp. 2376-2383, Jun. 1997.
[5] Jen-Tsai Kuo, Eric Shih, "Microstrip Stepped Impedance Resonator Bandpass Filter with an Extended Optimal Rejection Bandwidth", *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 51, no. 5, pp. 1554-1559, May 2003.
[6] J. S. Hong, M. J. Lancaster, "End-coupled microstrip slow-wave resonator filter", *Electronics Letters*, vol. 32, no. 16, pp. 1494-1496, Aug. 1996.
[7] Jen-Tsai Kuo, Eric Shih, "Stepped Impedance Resonator Bandpass Filters with Tunable Transmission Zeros and Its Application to Wide Stop-band Design", *IEEE MTT-S Digest.*, pp. 1613-1616, 2002.
[8] M. Makimoto, S. Yamashita, *Microwave resonators and filters for wireless communication*, Springer, 2000.
[9] David M. Pozar, *Microwave Engineering*, Addison-Wesely, 1993.

박 광 선



2000년 2월: 아주대학교 전자공학부 (공학사)
2000년 3월~현재: 아주대학교 전자공학과 석사과정
[주 관심분야] 초고주파 회로설계, 통신 부품 개발

이 창 언



1998년 2월: 아주대학교 전자공학부 (공학사)
2000년 2월: 아주대학교 전자공학과 (공학석사)
2000년 3월~현재: 아주대학교 전자공학과 박사과정
[주 관심분야] 전자공학, 통신공학, 광통신공학

천 동 완



1999년 2월: 아주대학교 전자공학
부 (공학사)
2001년 2월: 아주대학교 전자공학
과 (공학석사)
2001년 3월~현재: 아주대학교 전
자 공학과 박사과정
[주 관심분야] RF/Microwave 수동

소자 해석 및 설계

신 철 재



1964년 2월: 연세대학교 전자공학
과 (공학사)
1968년 2월: 연세대학교 전자공학
과 (공학석사)
1983년 3월: 연세대학교 전자공학
과 (공학박사)
1967년~1970년: 동양공업전문대 조

교수

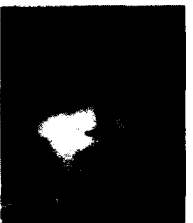
1970년~1977년: 광운대학교 조교수

1986년~1987년: 미국 Florida 대학 객원교수

1977년~현재: 아주대학교 전자공학과 교수

[주 관심분야] 안테나 설계 및 해석, EMI/EMC, 초고주파
통신부품 개발, 전파전파

이 진 택



1997년 2월: 아주대학교 전자공학
부 (공학사)
2002년 8월: 아주대학교 전자공학
과 (공학석사)
2002년 8월~현재: 아주대학교 전
자공학과 박사과정
[주 관심분야] 전자공학, 통신공학,

광통신 공학