

유전체 공진기가 삽입된 공동공진기를 이용한 이중모드 대역통과 필터의 설계

박도영, 윤순일, 박미화, 나승욱, 이기진
서강대학교 물리학과

Design of dual-mode bandpass DR filter in a loaded cavity

Do-young Park, Soonil Yoon, Seonguk Na, Miehwa Park, Kiejin Lee
Dept. of physics, Sogang University

Abstract

유전체가 삽입된 공동 공진기는 유전체에 대부분의 전자계가 집중되어 있기 때문에, 도체 손실이 매우 적고, 높은 Q값과 온도 안정성이 뛰어나다. 동일한 주파수에서 동작하는 다른 필터에 비해 상대적으로 작기 때문에 소형화에도 적합하다. 본 논문에서는 유전체가 삽입된 공동 공진기의 전자기 분포와 특성을 수치해석과 HFSS(High Frequency Structure Simulator)를 이용하여 분석하였고 이 결과를 토대로 HFSS를 이용한 순차적 방법을 도입하여 4-pole 이중모드 대역통과 필터를 설계, 제작하였다

Key Words : Dual mode bandpass filter, Dielectric resonator, HFSS (High Frequency Structure Simulator), HEM mode (hybrid mode), microwave component

1. 서론

최근 능동 마이크로파 소자는 여러 가지 형태로 발달되고 있다. 이 소자는 크게 두 가지로 분류 되는데, 스트립 라인 및 마이크로 스트립 라인 같은 2차원 소자와 공동 공진기 및 도파관, 유전체 공진기 같은 3차원 소자로 나눌 수 있다.

2차원 소자는 낮은 내부 Q 인자 때문에 넓은 대역폭을 구현하기 위해서는 넓은 주파수 대역을 사용해 왔다. 손실이 큰 이 소자는 최근들어 능동소자와 초전도 기술의 향상으로 손실이 줄어들고 있다. 작은 크기와 뛰어난 호환성으로 인해서 중요성을 갖는다.

3차원 소자는 높은 내부 Q 인자와 높은 온도 안정성을 갖고 있다. 이 때문에 큰 주파수 대역에서도 작은 대역폭을 가질 수 있다. 하지만 큰 크기와 호환성이 시스템의 발달에 장애가 되고 있다.

본 논문에서는 HFSS를 통해서 모드 차트와 유전체 공진기 결합 계수 계산을 하였다. 또한 이것을 이중모드 유전체 공진기 설계의 순차적 방법에 적용해서 튜닝을 최소화 하는 방법을 강구하였고 이 방법을 통해 얻은 결과를 통해 필터를 제작하였다.

2. 실험 방법

2.1 두개의 유전체 공진기 사이의 결합계수

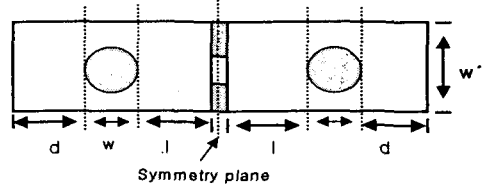


그림 1. 두개의 유전체 공진기 결합구조

유전체 공진기의 경우 필드 여기에 따른 여러개의 공진점을 가지고 있다.

TE_{om}(transverse electric) 또는 TM_{om}(transverse magnetic)은 필드의 형태가 축에 따라서 대칭적이기 때문에 각에 따라서 필드가 변하지 않는다. 하지만 고차모드는 각의 변화에 따라서 필드의 형태가 변하는데 이 구조는 전기장과 자기장을 모두 포함하고 있다.

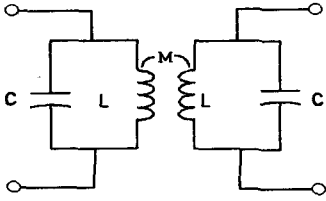


그림 2. 결합된 공진기의 동가회로

그림2 는 두개의 결합된 유전체 공진기의 동가회로를 나타낸 그림이다. 이는 두개의 병렬공진 회로가 상호 인덕턴스 M에 의해서 결합되어 있다. 이 구조의 결합계수를 회로의 성분에 의해서 결정하면 아래의 식 과 같다.

$$k = \frac{M}{L} \quad (1)$$

그림3 은 동가회로의 또 다른 형태이다.

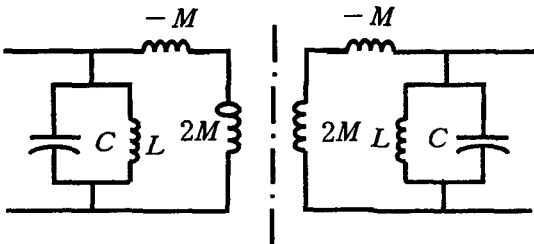
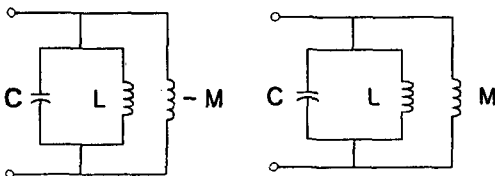


그림 3. 결합된 유전체 공진기 동가회로

이 형태는 경계조건에 따른 결합 계수를 계산할때 편리성을 가지고 있다.



(a) electric wall

(b) magnetic wall

그림 4. 대칭면을 (a) electric wall (b)magnetic wall로 놓았을때 동가회로

그림 3의 대칭면을 단락회로로 대치하면 결과적으로 공진주파수 f_e 는 그림4 (a)의 회로의 공진주파수와 일치한다. 이는 그림1의 대칭면을 electric wall로 두고 얻어낸 결과이다. 그 결과는 아래의 식과 같다.

$$f_e = \frac{1}{2\pi\sqrt{\frac{LM}{M-L}}} \quad (2)$$

유사하게 그림 3의 대칭면을 개회로로 대치하면 그림 4 (b)의 회로의 공진주파수와 같은 f_m 를 구할수 있다.

이는 그림 1의 대칭면을 magnetic wall로 두고 얻어낸 결과이다.

그 결과는 아래의 식과 같다.

$$f_m = \frac{1}{2\pi\sqrt{\frac{LM}{M+L}}} \quad (3)$$

위의 결과들을 통해서 결합계수를 구하면 다음과 같다.

$$k = \frac{M}{L} = \frac{f_h^2 - f_e^2}{f_h^2 + f_e^2} \quad (4)$$

마이크로 웨이브 필터를 구현하기 위해서 먼저 통과대역 주파수, 대역폭, 삽입손실등 몇가지 사항을 고려해야 한다. 이것들은 필터 설계의 중요한 요소인 응답곡선 과 공진점의 수 그리고 외부 양호도 Q 인자 값과 두개의 공진기간의 결합에 관련되어 있다.

그림 1 처럼 공동공진기 내부에 두개의 유전체 공진기가 삽입되어 있고, 입/출력 단자와 유전체 공진기 사이를 연결하는 아이리스가 있는 필터를 고려해보자.

이 필터에 대한 위에서 언급한 값들을 결정하는 방법을 HFSS를 통하여 순차적으로 알아보도록 하자

2.2 이중모드 유전체 공진기 설계의 순차적 방법

HFSS의 eigenmode 와 driven mode 를 이용하여 다음 그림5 에 따르는 사항에 대해서 계산하였다.

1) 중심 주파수를 정하기 위해서 유전체 공진기와 공동공진기의 크기를 앞에서 구한 모드차트를 통해 결정한다.

2) 입출력 단자와 유전체 공진기 사이의 결합계수는 외부 양호도 Q_e 와 관련되어 있다. 이 값은 입출력 단자와 유전체 공진기 사이의 거리에 따라서 결정되게 된다. 이 경우 단지 중심 주파수에서 단지 하나의 편극만 여기된다. 유전체 손실이 없다고 가정하고 -3 dB 에서 대역폭 (Δf) 고려하면 우리는

외부 양호도 Q_e 를 식(5) 처럼 구할수 있다.

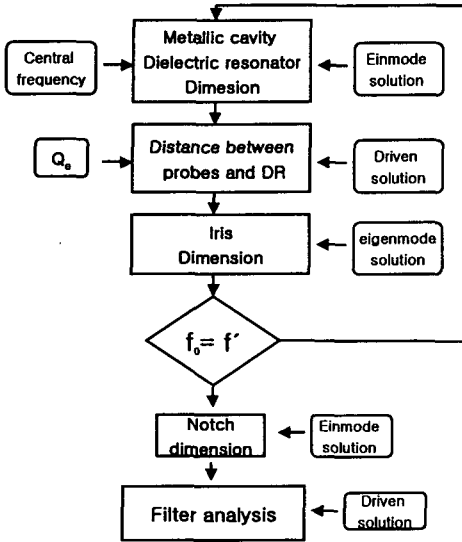


그림 8 필터 설계 개략도

$$Q_e = \frac{f_0}{\Delta f} \quad (5)$$

3) 두개의 유전체 공진기 사이의 결합계수는 아이리스 크기의 함수로 나타낼수 있다. 아이리스 변화에 따라서 경계조건의 값이 변화하여 f_e 와 f_m 변하게 된다. 이 변화값에 따른 결합계수 값을 통해서 아이리스의 크기를 결정한다.

3. 결과 및 고찰

본 논문에서 제작하고자 하는 유전체 공진기 이중 모드 대역통과 필터의 성능은 중심주파수가 2.07GHz 이고 대역폭이 25MHz 이다. 위와 같은 설계데이터를 참고로 얻은 외부양호도, 결합계수 값과 순차적 방법을 통해서 얻은 값을 비교한 결과가 표1에 나타나 있다. 이 비교한 결과를 통해 필터의 제원(표2)을 결정한다.

성분	이론값	성분	실험값
Q 인자	61.0951	Q 인자	62.1478
$K_{12} = K_{34}$	0.00991	$K_{12} = K_{34}$	0.00976
K_{23}	0.00912	K_{23}	0.00931

<표1> 외부양호도 결합계수 이론값과 실험값 비교

명칭	제원	명칭	제원
Cavity	44x44x32 mm	Conector	Φ1.6 x 1 6 mm
DR	Φ35 x 1 12 mm permittivity : 45	notch	Φ4 x 1 15.5 mm
Iris	Φ2 x 1 10 mm	supportor	Φ15 x 1 8 mm permittivity : 8.8

<표2> 설계한 필터의 제원

위에서 결정된 제원을 HFSS에 적용해서 얻은 응답 결과는 그림9 와 같다.

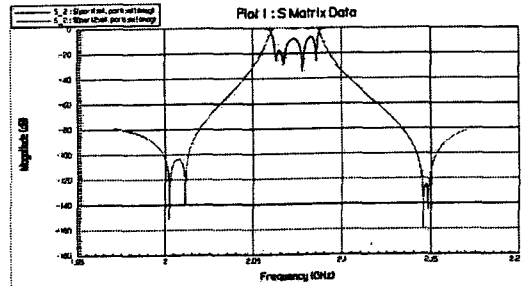


그림 9 HFSS를 통한 응답 결과

이 응답결과와 표2에서 설계한 제원을 바탕으로 제작한 필터는 아래 그림과 같다.

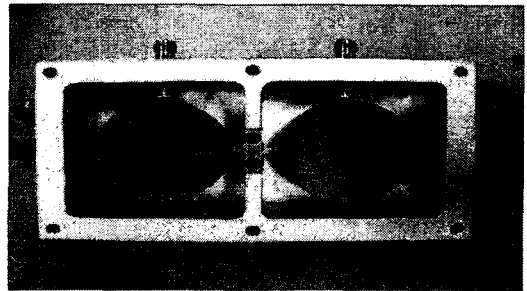


그림 10 4-pole 이중모드 대역통과 필터

제작한 4-pole 이중모드 대역통과 필터를 NetWork Analyzer 를 통해 응답을 얻은 결과는 아래 그림 11 과 같다.

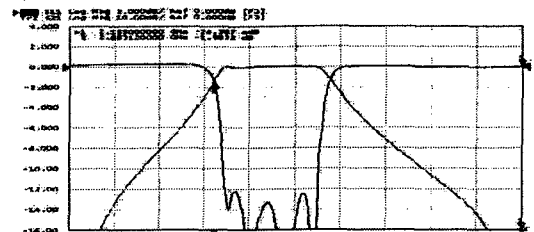


그림 11 Network analyzer를 얻은 응답결과

결과를 보면 설계했던 제원과 비교했을때 중심주파

수는 변화가 없지만 대역폭은 더 커졌음을 알 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 두 개의 유전체 공진기 사이의 결합 계수를 등가회로와 경계조건을 적용하여 새롭게 제한하였고 HFSS를 통해 튜닝을 최소화 할수 있는 방법을 제안하고 이를 바탕으로 유전체 공진기 4-pole 이중모드 대역통과 필터를 제작하여 응답결과를 얻었다.

5. 감사의 글

이 논문은 2002년 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었음(KRF-2002-015-CS0018)

6. 참고 문헌

- [1] D.Baillarget,S.verdeyme,M.Auboug,P.Guillon " CAD Applying the finite-element method for dielectric resonator filters"IEEE Trans.Microwave Micro and Tech .Vol 46 ,No1 ,pp 10~17 Jan. 1998
- [2] K.A.Zaki, Chungming Chen " Coupling of Non-Axially Symmetric Hybrid Modes in Dielectric resonators" IEEE Trans.Microwave Micro and Tech .Vol 35 ,No12 , pp 1136~1142 Dec. 1987
- [2] K.A.Zaki, C.Chen , and A.E.Atia "A circuit model of probes in dual mode cavities" IEEE Trans.Microwave Micro and Tech .Vol 36 ,No 12 , Dec. 1987
- [3] D.Kajfez and P.Guillon , Dielectric resonator . Nobel publish Corp. 1998
- [4] G.Matthaei, L.Young and E.M.T.Jones, Microwave Filters , Impedance-Matching Networks, and Coupling Structures. Dedham MA,Artec House, 1980.
- [5] 김상철,이찬주,홍의석 "인공위성 중계기용 Ku-band 유전체 공진기 대역통과 필터 " 전자공학 회 논문지 제 29권 A편 11호 pp 49-56 11.1992