세라믹을 이용한 적층형 유전체 도파관 필터

Layered-Type Dielectric Waveguide Filter Using Ceramic

장영수 · 김종철* · 김승완* · 이기진

Young-Soo Jang · Jong-Chel Kim* · Seung-Wan Kim* · Kie-Jin Lee

요 약

본 논문에서는 적층형 유전체 도파관 필터를 제안한다. 횡 방향으로 공진부가 연결되는 유전체 도파관 필터는 단수가 증가함에 따라 길이가 증가하여 제작시 어려움이 따른다. 제안된 구조는 세라믹을 이용하여 일부 공진부를 적층 형태로 변경하여 설계 제작한 것이다. 상대 유전율이 22인 세라믹을 이용하여 기존의 도파관 필터보다 25 % 정도 크기가 줄었으며, SMD 형태로 PCB에 표면 실장이 가능하도록 하였다.

Abstract

Layered-type dielectric waveguide filters were designed. As the order of layers increased the fabrication process for dielectric waveguide filters which the resonator parts were connected by the lateral direction has many difficulties. The proposed structure in this report was designed based on the layered-type for the some parts of resonators. The size of layered-type dielectric waveguide filters installed on the PCB surface were reduced at 25% as compared with the usual waveguide filters by using a relative dielectric constant 22.

Key words : Dielectric, Waveguide Filter, Layered-Type, Resonator, Ceramic

I. 서 론

이동 통신 송수신 시스템에 사용되는 통신 부품의 소형화는 꾸준히 연구 개발되고 있다. 특히 RF 수동 소자 중 핵심 부품인 필터는 저가화 및 소형화 연구의 필요성이 지속되고 있다. 여러 형태의 필터 중 도파관 필터, 공동 공진기 필터, 유전체 공진기 필터들은 방사 손실이 적어 비교적 높은 무부하 품질 계수와 온도 안정성을 가지므로, 넓은 주파수 대역에서 사용이 가능하다.

본 논문에서 제안하는 구조는 세라믹을 이용한 유전체 도파관형 필터로써, Marcuvitz가 제안한 도파

관 H-면 계단형 불연속 구조를 이용하여 설계한다. 계단형 불연속 구조를 모드 정합법을 이용하여 산란 계수를 구하고, 공진기에 적용하여 길이를 최적화한다^[1]. 그런 후 일부 공진기를 적층 구조로 변경하여 설계 제작한다.

II. 설 계

2-1 체비셰프형 저역 통과 프로토타입 필터

양 끝단이 저항으로 종단된 저역 통과 프로토타입 필터의 등가 회로는 그림 1과 같다^{[2],[5],[6]}.

본 논문의 설계 조건에 따른 프로토타입 값들을

「본 논문은 지식경제부 부품소재 국제협력사업(CIS과제)으로 지원된 연구임(N0000481).」

서강대학교 바이오융합과(Interdisciplinary Program of Intergrated Biotechnology, Sogang University)

*(주)릿치마이크로웨이브(Ricci Microwave Co., Ltd.)

· Manuscript received October 10, 2012 ; Revised January 9, 2013 ; Accepted January 16, 2013. (ID No. 20121010-109)

· Corresponding Author : Kie-Jin Lee (e-mail : klee@sogang.ac.kr)

그림 1. 저역 통과 프로토타입 필터

Fig. 1. Low-pass prototype filter.

식 (1)에 따라 구해 보면 $g_0=1.0$, $g_1=1.6703$, $g_2=1.1926$, $g_3=2.3661$, $g_4=0.8419$, $g_5=1.9841$ 이다.

$$\begin{aligned} g_0 &= 1 \\ g_1 &= \frac{2a_1}{\gamma} \\ g_k &= \frac{4a_{k-1}a_k}{b_{k-1}g_{k-1}}, \quad k=2, 3, \dots, n \\ g_{n+1} &= 1 \quad n: \text{기수} \\ &= \coth^2\left(\frac{\beta}{4}\right) \quad n+1: \text{우수} \end{aligned} \quad (1)$$

여기서,

$$\begin{aligned} \beta &= \ln\left(\coth\frac{L_{Ar}}{17.37}\right) \\ \gamma &= \sinh\frac{\beta}{2n} \\ a_k &= \sin\frac{(2k-1)\pi}{2n}, \quad k=1, 2, \dots, n \\ b_k &= \gamma^2 + \sin^2\frac{k\pi}{n}, \quad k=1, 2, \dots, n \end{aligned}$$

2-2 임피던스 인버터

그림 2는 임피던스 인버터를 이용한 대역 통과 필터의 등가 회로이다. 인버터의 개념을 이용할 경우, 연속하는 같은 구조의 병렬 또는 직렬 공진기로 대역 통과 필터의 구조를 설계할 수 있어 실질적인 고주파 소자로 쉽게 구현할 수 있다^{[3],[5]}.

본 논문의 설계 조건에 따른 임피던스 인버터 값들을 식 (2)에 따라 구해 보면 $K_{01}=0.3233$, $K_{12}=0.0638$, $K_{23}=0.0421$, $K_{34}=0.0638$, $K_{45}=0.3233$ 이다.

그림 2. 인버터를 이용한 대역 통과 회로

Fig. 2. Band-pass filter circuit using inverters.

$$\begin{aligned} K_{01} &= \sqrt{\frac{R_i a_1 w}{g_0 g_1 w_1}} \\ K_{j,j+1} &= \frac{w}{w_1} \sqrt{\frac{a_j a_{j+1}}{g_j g_{j+1}}} \quad (j=1 \sim n-1) \\ K_{n,n+1} &= \sqrt{\frac{R_2 a_n w}{w_1 g_n g_{n+1}}} \end{aligned} \quad (2)$$

여기서,

g_j : 저역 통과 필터의 소자 값
 w : 비대역폭(통과대역/중심 주파수)
 w_1 : 통과대역 차단 주파수
 a : 리액턴스 슬로프 파라미터

2-3 산란 행렬 값

모드 정합 방법은 불연속 부분의 양쪽 영역의 전자계를 맥스웰 방정식의 해로 알려진 가중치 합으로 표현하고, 불연속면에서 전자계를 정합시킴으로써 일반화된 산란 행렬을 유도하는 것으로 정확한 전자계 해석 방법이다. 식 (3)은 결합적분 행렬의 각 요소들을 표현하는 식이고, 식 (4)는 모달 산란 행렬(modal scattering matrix)로써, H-평면 불연속면을 정규화된 산란 행렬로 표현한 것이다. 식 (5)를 이용하여 산란 행렬을 얻을 수 있다^{[1],[4],[7]}.

$$(L_E)_{mn} = 2 \sqrt{\frac{k_{zm}^I}{a(a_2 - a_1)k_{zn}^{II}}} \cdot \int_{a_1}^{a_2} \sin\left(\frac{n\pi}{a}x\right) \sin\left[\frac{n\pi}{a_2 - a_1}(x - a_1)\right] dx = (L_H)_{nm} \quad (3)$$

$$\begin{bmatrix} B^I \\ F^I \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S^{L_{11}} & S^{L_{12}} \\ S^{L_{21}} & S^{L_{22}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} F^I \\ B^I \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} S_{11} &= [L_E L_H + I]^{-1} [L_E L_H - I] \\ S_{12} &= 2 [L_E L_H + I]^{-1} L_E \\ S_{21} &= L_H \{I - [L_E L_H + I]^{-1} [L_E L_H - I]\} = L_H \{I - S_{11}\} \\ S_{22} &= I - 2 L_H [L_E L_H + I]^{-1} L_E = I - L_H S_{12} \end{aligned} \quad (5)$$

본 논문의 설계 조건에 따른 투과 계수를 구해 보면 1st=-7.6 dB, 2nd=-21.3 dB, 3rd=-21.3 dB, 4th=-7.6 dB이다.

III. 시뮬레이션

시뮬레이션 프로그램은 HP사의 HFSS 5.4를 사용

하였으며, 해석 조건으로는 기본 mesh를 사용하였고, S -parameter의 delta error는 0.001이고, passes는 10회를 하였다.

3-1 횡 방향의 유전체 도파관 필터 구조

표 1에서 계산된 투과 계수와 위상을 이용하여 도파관 필터의 치수를 결정하였다. 상대 유전율은 21.4로 설정하였고, Q값은 1,300으로 설정하였으며, 공진기의 크기는 26×13 mm로 정하였다. 또한, 인덕티브 아이리스의 두께는 0.05 mm로 설정하였다. 각 단수의 투과 계수와 위상을 수렴 조건에 맞도록 설정하여 공진기의 길이와 인덕티브 아이리스의 크기를 결정하였다.

그림 3은 시뮬레이션을 이용하여 1단과 4단의 공진기 길이와 인덕티브 아이리스의 크기를 결정하는 과정이다. 아이리스의 크기를 결정하기 위해 S_{21} 값인 -7.64 dB에 수렴하도록 반복 시뮬레이션을 하여 값을 얻었으며, 공진기의 길이를 결정하기 위해 위상값인 155.24° 에 수렴하도록 반복 시뮬레이션을 하였다.

같은 방법으로 2단과 3단의 공진기 길이와 인덕티브 아이리스의 크기를 결정하였다. 표 1은 결정된 도파관 필터의 치수이다. 그림 4는 표 1의 값을 적용

그림 3. 1단과 4단 시뮬레이션 과정

Fig. 3. Simulation process for 1st, 4th dimensions.

표 1. 투과 계수와 도파관 필터의 치수

Table 1. S_{21} value and waveguide filter dimensions.

	1단	2단	3단	4단
S_{21} (dB)	-7.6	-21.3	-21.3	-7.6
위상($^\circ$)	155.2	174.9	174.9	155.2
길이(mm)	23.96	24.33	24.33	23.96
아이리스(mm)	10.71	10.95	10.95	10.71

(a) 구조도
(a) Structure

그림 4. 도파관 필터 구조

Fig. 4. Waveguide filter structure.

하여 구조 시뮬레이션을 진행한 결과이다.

3-2 적층 형태로 변경을 위한 산란 계수 정합

적층 형태로 변경하기 위해 기 설계된 유전체 도파관 필터의 산란 계수와 일치시켰고, 인덕티브 형태로 변경하였다. 또한, 공진기의 크기도 26×6.5 mm로 변경하였다. 그림 5는 S_{21} 과 in/out 길이의 상관 관계를 보여주고 있다. In/out 길이가 4.01 mm일 때, S_{21} 이 -7.64 dB로 일치하는 결과를 얻었다. 그림 6은 S_{21} 과 인덕티브 원과의 상관 관계를 보여주고 있다. 인덕티브 원의 지름이 3.37 mm일 때, S_{21} 이 -21.3

그림 5. S_{21} 과 in/out 길이의 관계
Fig. 5. Relation between S_{21} and in/out length.

그림 6. S_{21} 과 인덕티브 원과의 관계
Fig. 6. Relation between S_{21} and inductive circle.

그림 7. S_{21} 과 인덕티브 창과의 관계
Fig. 7. Relation between S_{21} and inductive window.

dB로 일치하는 결과를 얻었다. 그림 7은 S_{21} 과 인덕티브 창과의 상관 관계를 보여주고 있다. 인덕티브 창 크기가 4.24 mm일 때, S_{21} 이 -23.4 dB로 일치하는 결과를 얻었다.

그림 8. 적층형 도파관 필터 구조
Fig. 8. Layered-type waveguide filter structure.

3.3 적층형 유전체 도파관 필터 구조

그림 8은 최종적으로 설계한 적층형 유전체 도파관 필터의 구조이다. 그림 4와 일치하는 결과를 얻었다.

IV. 제작 및 측정 결과

필터 제작에 사용된 세라믹 파우더는 일본 Kyorix사의 HF-22K(SD)로써, 유전 상수는 5.01 GHz에서 22.04이고, FxQ는 49307이다. 측정시 사용된 장비는 Network analyzer로써 Agilent사의 8722ES 모델이다.

그림 9는 시작품의 분해도이고, 그림 10은 실제 치수이다. 검은 부분은 입출력 포트로 표면 실장하기 위한 부분이다.

그림 11은 제작된 시작품 사진이다. 외부 도체는 은을 사용하여 프린팅 기법으로 도포하였고, 은의 두께는 10~15 μm 이고, 880 $^{\circ}\text{C}$ 에서 10분 유지 시간

그림 9. 분해도

Fig. 9. Partition picture.

그림 10. 대역 통과 필터 치수(units: mm)

Fig. 10. Band-pass filter dimension(units: mm).

그림 11. 제작된 사진

Fig. 11. Fabricated picture.

으로 소성하였다. 접합은 무연 납을 이용하였다.

그림 12는 측정된 결과 그래프이고, 표 2는 목표치와 측정 결과이다. 전기적 사양을 만족하는 결과를 얻을 수 있었다.

그림 12. 측정 그래프

Fig. 12. Measurement graph.

표 2. 목표치 및 측정 결과

Table 2. Target value & measurement result.

		전기적 사양	
		목표치	결 과
Center frequency		1.80 GHz	
Bandwidth		1.79~1.81 GHz	
Insertion loss		2.5 dB	2.18 dB
Ripple		0.5 dB	0.43 dB
Return loss		15.0 dB	15.09 dB
Attenuation	1.70 GHz	70.0 dB	78.47 dB
	1.90 GHz	70.0 dB	72.57 dB
Impedance		50 ohms	

V. 결 론

본 논문에서는 세라믹을 이용한 적층형 유전체 도파관 필터에 대한 연구를 하였다. H-면 계단형 불연속 구조를 모드 정합법을 이용하여 산란 계수를 구하고, 이를 세라믹 공진기로 변경하고, 커플링 값을 최적화하였다. 다시 세라믹 공진기의 구조를 적층 형태로 변경하고, 커플링 값을 최적화하여 설계 제작하였다. 상대 유전율 22를 이용하여 설계 제작하였으므로 수치적으로는 기존 air를 이용하는 도파관 필터에 비해 $\sqrt{22}$ 만큼 크기를 소형화 할 수 있으나, 세라믹 고유의 loss를 감안한다면 대략 25 % 정도 축소가 가능하다.

본 논문에서 소개된 세라믹을 이용한 적층형 유

전체 도파관 필터는 제작이 용이하며, 표면 실장이 가능함으로 중계기 등에 사용이 편리하다.

참 고 문 헌

- [1] N. Marcuitz, *Waveguide Handbook*, Boston Technical Publisher, Inc., 1964.
- [2] David M. Pozar, *Microwave Englineering*, Addison-Wesley, 1990.
- [3] Peter A. Rizzi, *Microwave Engineering Passive Circuits*, Prentice Hall, 1988.
- [4] Thomas H. Le, *Planar Microwave Engineering*, Cambridge.
- [5] G. L. Matthaei, L. Young, and E. M. T. Jones, *Microwave Filter, Impedance-Matching Networks, and*

CouPling Structures, McGraw-Hill, Inc., 1964.

- [6] 강중윤, "이동 통신용 일체형 유전체 듀플렉서에 관한 연구", 연세대학교 전기·컴퓨터공학과 박사 논문, 1999년.
- [7] 박성수, "40 GHz 아이리스형 도파관 대역통과 필터의 설계", 충남대학교 전과공학과 석사논문, 2003년.
- [8] 강승택, "Ka-대역 군지연-등화 여파기용 SA 기법과 CG 기법의 하이브리드 설계 기법", 한국전자과학회논문지, 15(8), pp. 775-780, 2004년 8월.
- [9] Sungtek Kahng, "Efficient design of waveguide filters reducing modal interference through cross-shaped slots", *J. Electromagn. Eng. Sci.*, vol. 5, no. 1, pp. 21-25, 2005년 3월.

장 영 수

1999년 2월: 한남대학교 물리학과 (이학사)
 2003년 8월: 경희대학교 전자공학과 (공학석사)
 2008년 3월~현재: 서강대학교 바이오융합과 박사과정
 [주 관심분야] RF 유전체 필터 및 마이크로파 근접장 현미경 등

김 승 완

2001년 2월: 서울산업대학교 재료공학과 (공학사)
 2006년 8월: 서강대학교 물리학과 (이학석사)
 2012년 2월: 서강대학교 바이오융합과 (공학박사)
 2005년 1월~현재: (주)릿치마이크로웨이브 선임연구원
 [주 관심분야] RF 유전체 필터 및 마이크로파 바이오센서 등

김 중 철

1987년 2월: 서강대학교 물리학과 (이학사)
 1989년 8월: 서강대학교 물리학과 (이학석사)
 2003년 3월~현재: 서강대학교 물리학과 박사과정
 2006년 5월~현재: (주)릿치마이크로웨이브 대표이사
 [주 관심분야] RF 유전체 필터 및 마이크로파 근접장 현미경 등

이 기 진

1986년 8월: 서강대학교 물리학과 (이학사)
 1989년 2월: 서강대학교 물리학과 (이학석사)
 1992년 8월: 서강대학교 물리학과 (이학박사)
 1994년 4월~1995년 10월: 일본 쓰쿠바대학교 물질공학계 조수
 1995년 11월~1999년 8월: 일본 동경공업대학교 응용물리학과 조수
 1999년 9월~현재: 서강대학교 물리학과 교수
 [주 관심분야] RF 소자, 마이크로파 근접장 현미경, 마이크로파 바이오센서 및 OLED 등