

원통형 유전체 공진기 필터 특성 연구

김주영, 박도영, *김종철, 이기진
서강대학교 물리학과, *(주)셀레콤
전화 : (02) 705-8429 / 팩스 : (02) 715-8429 H.P 번호 : 017-230-5159

The study of the characteristic of the cylindrical dielectric resonator filter

Joouyoung Kim, Doyoung Park, Kiejin Lee, *Jongchel Kim
Dept. of Physics Sogang University,* Celecom
E-mail : klee@ccs.sogang.ac.kr

Abstract

In this paper, The resonant frequencies of any modes in the dielectric resonator filter is determined by numerical analysis. The theoretical analysis for the dielectric resonator filter used Ansoft HFSS. We designed the dielectric resonator filter with resonant frequency 4.5 GHz. We describe the characteristics of delivering power to resonator in different shaped coupling loops. The resonant mode of TE_{015} and TM_{015} could be selected by the horizontal and the vertical coupling loop.

본 논문에서는 원통형 유전체 공진기 필터내부의 전계와 자계 분석을 통해 모드별 공진 주파수를 계산하였다. 그리고 Ansoft HFSS를 이용하여 유전체 공진기를 설계, 시뮬레이션을 하였고 공진주파수가 4.5 GHz인 원통형 유전체 공진기를 제작하였다.

Coupling loop의 모양에 따른 급전선에서 공진기로의 전력전달 특성을 연구하였다. Coupling loop의 각도에 따른 공진기내의 전계와 자계의 형성과 특성을 조사하기 위해 Ansoft HFSS로 시뮬레이션 하였고, 제작한 공진기를 Network analyzer (Agilent 8753ES)를 이용하여 측정하였다.

I. 서론

유전체 공진기는 높은 Q 값, 온도 안정성, 소형화 제작이 가능하다는 장점이 있어 유전체 필터와 안정화 된 오실레이터 등에 응용되고 있으며 많은 사람들에게 의해 연구되고 있다[1-3]. 유전체 공진기가 이동통신의 기지국에 응용되기 위해서는 높은 Q 값이 요구되는데 이것을 구현하기 위해 공진기에 외부의 시스템에서 최대의 전력 전달이 중요하다. 최대 전력 전달을 위해서는 공진기의 인피던스 매칭을 통해 가능하다.

II. 유전체 공진기 필터 해석

유전체 공진기는 다양한 모드와 그에 따른 복잡한 필드를 형성하고 있다. 이러한 유전체 공진기 필터를 해석하기 위해서는 모드에 따른 필드분석과 공진주파수를 구해야 한다. 기본적으로 아래의 그림 1과 같은 구조에서 이론적으로 필드 분포를 가정하고 이 필드분포를 이용해서 모드별 공진주파수를 계산한다.

모드의 radial 방향에 따른 필드를 분석하면 유전체

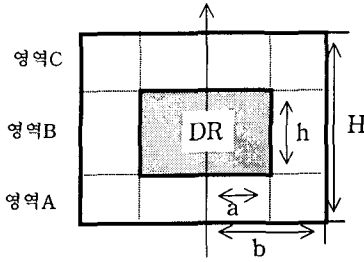


그림 1. 필드 분포 계산을 위한 영역의 구분
Fig 1. Divided region for the field distribution

공진기 내부에서 ($0 \leq r \leq a$)에 전계와 자계의 성분은 아래와 같이 표현 된다.

$$E_{z1} = A J_n(k_{\rho 1} r) \cos n\phi$$

$$j\omega H_{\phi 1} = aA J_n'(k_{\rho 1} r) \sin n\phi$$

$$E_{r1} = \frac{-A}{k_{\rho 1}^2} \left[\beta k_{\rho 1} J_n'(k_{\rho 1} r) + \frac{an J_n(k_{\rho 1} r)}{r} \right] \cos n\phi$$

$$j\omega H_{\theta 1} = \frac{A}{k_{\rho 1}^2} \left[-k_{\rho 1}^2 k_{\rho 1} J_n'(k_{\rho 1} r) + \frac{a\beta n J_n(k_{\rho 1} r)}{r} \right] \cos n\phi$$

그리고 공진기와 cavity 사이 ($a \leq r \leq b$)의 전계와 자계의 성분은

$$E_{z2} = A R_n(k_{\rho 2} r) \cos n\phi$$

$$j\omega H_{\phi 2} = aA P_n(k_{\rho 2} r) \sin n\phi$$

$$E_{r2} = \frac{A}{k_{\rho 2}^2} \left[\beta k_{\rho 2} R_n'(k_{\rho 2} r) + \frac{an P_n(k_{\rho 2} r)}{r} \right] \cos n\phi$$

$$j\omega H_{\theta 2} = \frac{A}{k_{\rho 2}^2} \left[-k_{\rho 2}^2 k_{\rho 2} P_n'(k_{\rho 2} r) + \frac{a\beta n R_n(k_{\rho 2} r)}{r} \right] \cos n\phi$$

이다. 여기서,

$$k_{\rho 1}^2 = k_1^2 + \beta^2 \quad k_{\rho 2}^2 = \epsilon_{r2} k_0^2$$

$$k_{\rho 2}^2 = -(k_2^2 + \beta^2) \quad k_1^2 = \epsilon_{r1} k_0^2$$

$$R_n(k_{\rho 2} r) = J_n(k_{\rho 1} a) \left[\frac{K_n(k_{\rho 2} r) I_n(k_{\rho 2} b) - I_n(k_{\rho 2} r) K_n(k_{\rho 2} b)}{K_n(k_{\rho 2} a) I_n(k_{\rho 2} b) - I_n(k_{\rho 2} a) K_n(k_{\rho 2} b)} \right]$$

$$P_n(k_{\rho 2} r) = J_n(k_{\rho 1} a) \left[\frac{K_n(k_{\rho 2} r) I_n'(k_{\rho 2} b) - I_n(k_{\rho 2} r) K_n'(k_{\rho 2} b)}{K_n(k_{\rho 2} a) I_n'(k_{\rho 2} b) - I_n(k_{\rho 2} a) K_n'(k_{\rho 2} b)} \right]$$

이다

위에서 분석한 필드에 $r=a$ 에서 연속이라는 조건을 이용하면 특성방정식 식 (1)을 얻을 수 있다.

$$U_n^2 + k_0^2 a^2 V_n W_n = 0 \quad (1)$$

여기서

$$U_n = n\beta a J_n(k_{\rho 1} a) \left[\frac{1}{(k_{\rho 1} a)^2} + \frac{1}{(k_{\rho 2} a)^2} \right]$$

$$V_n = \left[\frac{J_n'(k_{\rho 1} a)}{k_{\rho 1} a} + \frac{P_n'(k_{\rho 2} a)}{k_{\rho 2} a} \right]$$

$$W_n = \left[\epsilon_{r1} \frac{J_n'(k_{\rho 1} a)}{k_{\rho 1} a} + \epsilon_{r2} \frac{P_n'(k_{\rho 2} a)}{k_{\rho 2} a} \right]$$

또한 z축 방향에 따라 영역을 A,B,C로 나눈 영역별 필드는 아래처럼 나타낼수 있다

$$E_A = \sum a_i e_i \sinh \gamma(H/2 + z)$$

$$H_A = -\sum a_i h_i \cosh \gamma(H/2 + z)$$

$$H_B = \sum H_i (A_i e^{-\gamma z} - B_i e^{\gamma z})$$

$$E_B = \sum E_i (A_i e^{-\gamma z} + B_i e^{\gamma z})$$

$$E_C = -\sum b_i e_i \sinh \gamma(H/2 - z)$$

$$H_C = -\sum b_i h_i \cosh \gamma(H/2 - z)$$

$z=h/2$ 에서 전기장과 자기장은 연속이라는 경계조건을 만족해야 하므로

$$E_C = E_B, \quad H_C = H_B$$

그리고 $z=h/2$ 에선

$$E_A = E_B, \quad H_A = H_B$$

이다.

이 두 조건에 의해서 특성방정식 식(2)을 얻을수 있다.

$$\tanh \gamma h = \frac{-\sinh \gamma(H-h)}{\frac{\langle E, e \rangle}{\langle H, h \rangle} \cosh^2 \gamma \frac{(H-h)}{2} + \frac{\langle H, h \rangle}{\langle E, e \rangle} \sinh^2 \gamma \frac{(H-h)}{2}} \quad (2)$$

여기서

$$\langle H, h \rangle = \int_s H_i \cdot h_i ds$$

$$\langle E, e \rangle = \int_s E_i \cdot e_i ds$$

특성방정식 식(1), 식(2)을 통해서 공진주파수를 계산할 수 있다.

III. HFSS 시뮬레이션

유전체 공진기에서 공진모드에 따라 공진기 내부의 전자계가 바뀌어 공진기내의 전력 전달 특성과 공진주파수가 변화하므로 공진주파수의 모드를 구분하는 것이 중요하다. coupling loop의 각도에 따라 loop의 단면적을 가로지르는 전계와 자계의 선속의 양이 달라져서 특정모드가 강하게 여기되거나 약하게 여기되어 모드의 선택이 가능하게된다.

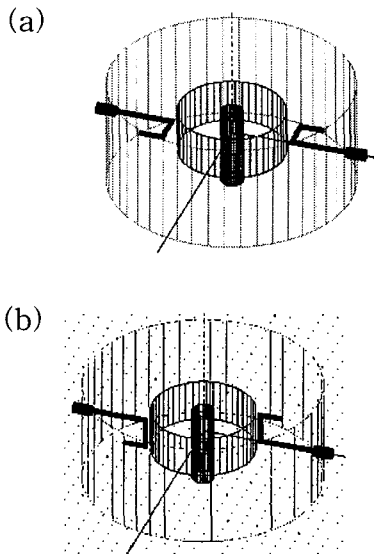


그림 2. HFSS이용 설계한 원통형 유전체 공진기
 (a) coupling loop의 각도가 0°,
 (b) coupling loop의 각도가 90°일 때.
 Fig 2. The cylindrical dielectric resonator layout
 by using HFSS (a) coupling loop with 0 degree,
 (b) coupling loop with 90 degree.

그림 2는 HFSS로 coupling loop의 각도에 따른 공진모드의 변화를 시뮬레이션 하기위해 설계한 그림이다. 여기서 사용한 유전체의 유전율은 29 이고 직경 14 mm 그리고 높이 5.8 mm이다. 그림 3은 Coupling loop의 각도가 수평일 때 공진주파수는 4.5 GHz이고 이때의 공진 주파수에서 전계와 자계를 HFSS에서 시뮬레이션한 그림이다 그림 4는 Coupling loop의 각도가 수직일 때 공진주파수는 5.6 GHz이고 이때의 공진 주파수에서 전계와 자계를 HFSS에서 시뮬레이션한 그림이다.

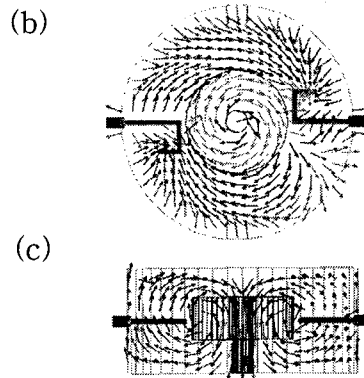
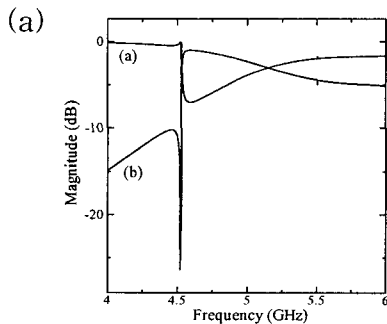


그림 3. Coupling loop의각도가 0. 시뮬레이션결과
 (a)공진주파수 (b) E-field (c) H-field
 Fig 3. Simulation result in coupling loop with 0 degree
 (a) Resonant frequency (b) E-field (c) H-field

coupling loop의 각도가 수평일 때 TE_{016} 모드가 여기되고 수직일 때 TM_{016} 모드가 여기됨을 알 수 있다.

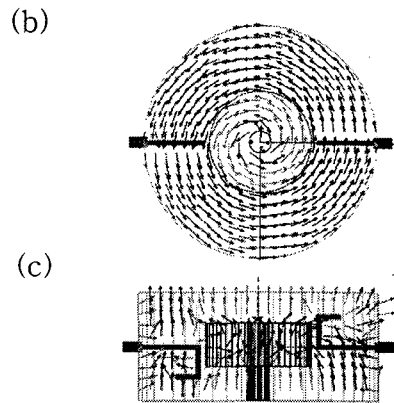
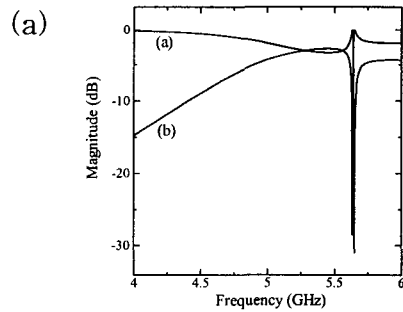


그림 4. Coupling loop의각도가 90. 시뮬레이션결과
 (a)공진주파수 (b) E-field (c) H-field
 Fig 4. Simulation result in coupling loop with 90 degrees
 (a) Resonant frequency (b) E-field (c) H-field

IV. 유전체 공진기 제작 및 측정

Coupling loop의 각도에 따른 공진기내의 전계와 자계의 형성과 특성을 조사하기 위해 HFSS 시뮬레이션 결과를 바탕으로 공진기를 제작하였고 Network analyzer (Agilent 8753ES)를 이용하여 측정하였다. 그림5는 원통형 유전체 공진기의 제작도이다.

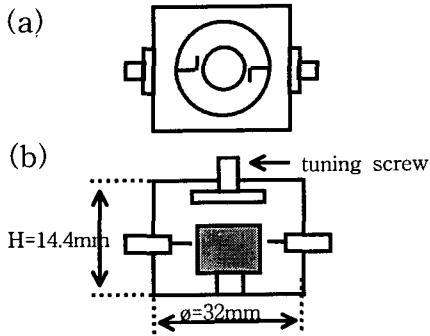


그림5. 원통형 유전체 공진기의 구조. (a) 윗면, (b) 측면.

Fig 5. The configuration of a dielectric cylindrical cavity. (a) top view, (b) side view.

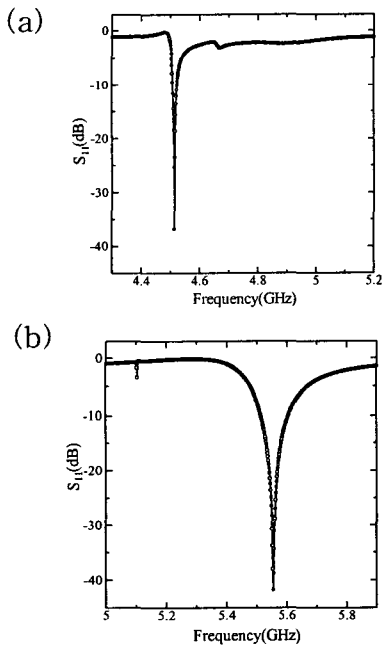


그림 6. coupling loop의 각도에 따른 공진주파수.

(a) coupling loop각도가 수평일 때 (b) 수직일때

Fig 6. The resonance peaks depending different degree of coupling loop.(a)coupling loop with 0 degree, (b) coupling loop with 90 degree.

그림 6은 제작한 유전체 공진기의 coupling loop의 각도에 따른 공진주파수를 측정한 것이다. coupling loop의 각도가 수평일 때와 수직일 때 HFSS 시뮬레이션 결과와 마찬가지로 각각 4.5 GHz와 5.6 GHz에서 공진이 일어남을 확인 할 수 있었다.

V. 결론

Magnetic wall method를 통해서 유전체 공진기의 필드 분포를 해석하였고 Ansoft HFSS software를 이용하여 유전체 공진기를 설계, 제작하였다. coupling loop의 각도가 수평일 때와 수직일 때 전계와 자계의 형성을 시뮬레이션하였고 보았고 coupling loop의 각도에 따라 TE₀₁₆ and TM₀₁₆ 모드를 선택적으로 사용할 수 있음을 확인 할 수 있었다.

참고문헌

- [1] K. A. Zaki and C. Chen, " Coupling of Non Axially Symmetric Hybrid Modes in Dielectric Resonators", IEEE Trans. Microwave Theory Tech. vol. MTT-35, No 12, pp1136-1142, December 1987
- [2] P. Guillon, M. P. Chong, and Y. Garault, "Dielectric resonators band pass filter with high attenuation rate", in IEEE MTT-S 1984 Int. Microwave Symp. Dig., pp240-242
- [3] D. Kaifez, P. Guillon, Dielectric Resonators, Novel publish, 1998
- [4] K. A. Zaki and C. Atia, " Modes in Dielectric-Loaded Waveguides and Resonators ", IEEE Trans. Microwave Theory Tech. vol. MTT-31, No 12, pp1139-1044, December 1983