

중계국용 DR(Dielectric Resonator) 세라믹 대역통과 필터 설계 및 시뮬레이션

김지균, 이현용  
영지대학교 전기공학과

Design and Simulation of the DR(Dielectric Resonator) Ceramic Band-Pass Filter for Basestation

Kim Jee-gyun, Lee Heon-yong  
Myong Ji University Electrical Engineering

**Abstract** - The purpose of this study is to establish the design theory of a DR ceramic bandpass filter used for basestations and to research on the design theory of bandpass filter. The design procedure is circuit parameters and structural parameters will be derived. It was observed that the filter characteristics at the simulations

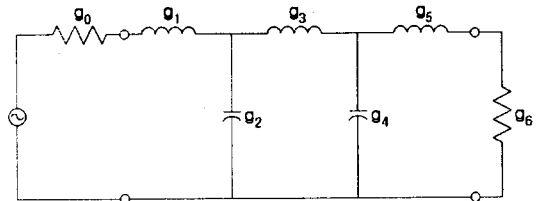


그림 1. 저역통과 표준형 필터 등가 회로  
Fig 1. Equivalent circuit of lowpass prototype filter

1. 서 론

정보화 시대의 고속화로 이동통신기기의 사용이 급증하는 이동 통신 분야의 눈부신 발전이 이루어지고 있으며 특히 개인 이동 통신의 욕구가 커지고 글로벌화로 국제적 상호 호환성이 중요해지고 있다. 이에 따라 다양한 통신 신호처리 방식과 여러 주파수 대역들을 이용하는 무선 통신 방식들이 연구되고 있으며 이를 뒷받침하는 RF 핵심 소자들의 개발이 이루어지고 있다. 무선 통신이 폭넓게 사용되기 위해서 RF단에 이용되는 RF 부품은 소형·경량이면서도 고성능을 요구하며 이에 따라 중계기나 기지국도 소형화·고성능화 하는 경향이다.[1]

이러한 무선 이동 통신의 발전은 Micro-Wave 수동 회로 중 대표적 소자인 필터 분야에도 영향을 미쳐 소형·경량의 요구를 충족시키면서 우수한 특성을 갖는 다양한 형태의 필터 제작이 이루어지고 있다. 또한 주파수 대역이 다양해짐에 따라 각각의 주파수 대역 특성에 맞는 필터의 개발이 활발하게 진행되고 있다.

본 연구에서는 이동 통신 중계국에 사용하기 위해 2.1GHz 대역에서 동작하는 Dielectric resonator 형태의 고주파용 대역통과 필터의 구조를 이해하고 필터 설계를 위하여 Dielectric resonator의 구조와 resonator 간의 전자기적 결합을 해석하고, 최종적으로 고주파용 DR 세라믹 대역통과 필터를 설계하고 시뮬레이션을 통해 확인함으로써 설계기법을 확립하는데 연구의 목적이 있다. 2.1GHz 대역통과 필터를 설계하고, 설계된 필터의 특성을 EEs of touchstone으로 시뮬레이션 하여 필터의 특성을 살펴보았다.

2. 필터설계 방법

2.1 대역통과 필터 설계

대역통과 필터를 구현하기 위해서는 먼저 저역통과 표준형 필터를 다루고 저역통과 표준형 필터에서 얻은 파라미터값을 주파수 변환(frequency transformation)과 역정규화(inverse normalization) 과정을 통해서 설계할 수 있다.

그림 1은 정규화(normalization)된 저역통과 표준형 필터를 나타낸다. 필터의 차수 n은 5-pole 이고, 리플 레벨(ripple level)  $L_{Ar}$ 는 0.02[dB],  $\omega = 1$  이다. 그리고 양단이 저항으로 종단되고 저역통과 표준형 필터의 각 파라미터 값  $g_j$ 는 다음 식 (1)로 구할 수 있다.[2]

$$g_0 = 1, \quad g_1 = (2a_1 / r)$$

$$g_k = \left( \frac{4a_{k-1} \cdot a_k}{b_{k-1} \cdot g_{k-1}} \right) \quad k=2, 3, \dots, n$$

$$g_n = 1 \quad n: \text{기수}$$

$$= \coth(\beta/4) \quad n: \text{우수} \quad (1)$$

여기서,

$$\beta = \ln[\coth(L_{Ar} / 17.37)] \quad (2)$$

$$r = \sinh[\beta / 2n] \quad (3)$$

$$a_k = \sin[(2k-1)\pi / 2n] \quad k=1, 2, \dots, n \quad (4)$$

$$b_k = r^2 + \sin^2[k\pi / n] \quad k=1, 2, \dots, n \quad (5)$$

이와 같은 저역통과 표준형 필터는 아래와 같은 식을 이용한 주파수 변환을 통해서 대역통과 필터 특성으로 나타낼 수 있다.

$$\frac{\omega'}{\omega_1} = \frac{2}{\Delta} \left[ \frac{\omega - \omega_0}{\omega_0} \right]$$

$$\Delta = (\omega_2 - \omega_1) / \omega_0$$

$$\omega_0 = \sqrt{\omega_1 \cdot \omega_2} \quad (6)$$

여기서,

$\Delta$ : 비대역폭 (fractional bandwidth)

$\omega_0$ : 중심 주파수

$\omega_1, \omega_2$ : 통과대역의 임계 주파수

이와 같은 과정에 의해서 그림 2와 같은 대역통과 필터의 등가 회로를 구할 수 있다.

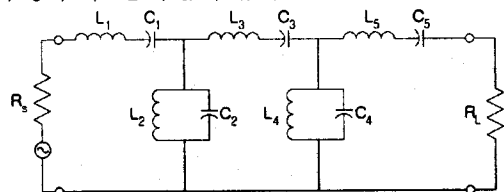


그림 2. 대역통과 필터 등가 회로  
Fig 2. Bandpass filter equivalent circuit

## 2.2 유전체 공진기 설계

유전체 공진기는 일반적으로 고 유전율의 재료로 만들어지며 따라서 이러한 유전체 공진기에 전자계 에너지가 여기(exciting)되었을 경우 대부분의 에너지는 유전체 공진기 내부에 존재하게 되고 유전체 외부 공간에 분포하게 된다.[3] 또한 구조는 도체 공동 공진기와 유사한 모드를 유지하지만 도체의 경우와 달리 전자계가 유전체 밖까지 확장된다.

그림 3은 유전체 공진기의 기본 공진 모드(mode)로 전자계의 분포를 나타낸다.

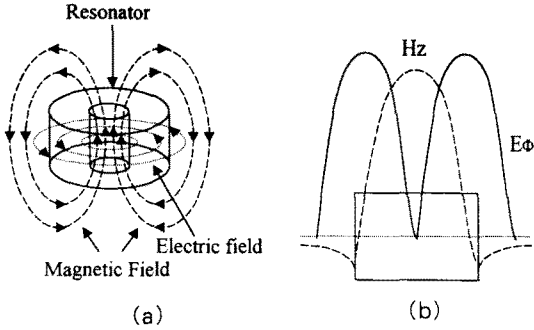


그림 3. 유전체 공진기의 전자계 분포

Fig 3. Electric and magnetic field distribution of dielectric resonator

유전체 공진기의 크기는  $\lambda_0 / \sqrt{\epsilon_r}$  (여기서  $\lambda_0$ 는 자유 공간에서의 파장,  $\epsilon_r$ 은 유전상수)에 따른다. 또한 앞에서 구한 여러 파라미터들을 이용하여 계산할 수 있다.

그림 4는 유전체 공진기의 구조를 보여주고 있으며, 이 유전체 공진기의 유전율  $\epsilon_r$ 은 36이다.

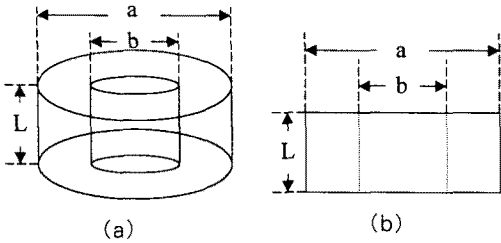


그림 4. 유전체 공진기의 구조

Fig 4. Structure of dielectric resonator

여기서 유전체 공진기의 외경  $a$ 와 내경  $b$ , 그리고 높이  $L$ 은 아래의 식(7)을 통하여 구할 수 있으며 본 연구에 사용되어지는 각각 5개의 유전체 공진기 크기를 정할 수 있다.

$$f_0 = \frac{c}{4L\sqrt{\epsilon_r}}$$

$$0.4 \leq L/a \leq 0.5$$

$$0.5 < \frac{a}{2L} < 2 \quad (\text{단, } 30 < \epsilon_r < 50) \quad (7)$$

여기서,  $f_0$ 는 공진주파수

또한 원통형 유전체 공진기는 그림 5에서 보는 바와 같이 외경  $a$ 와 내경  $b$ 의 비가 3.6 정도일 때 가장 좋은  $Q$ -factor 값을 얻을 수 있으므로  $b$ 값을 정할 때 이 점을 고려해야 한다.

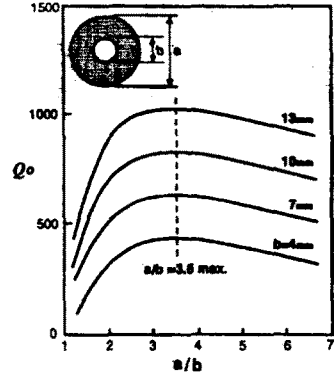


그림 5. 유전체 공진기 크기비에 따른 Q-factor  
Fig 5. Q-factor as a dielectric resonator size ratio

유전체 공진기를 이용하여 대역통과 필터를 제작하기 위해서는 유전체 공진기 필드 분포를 이용하여 유전체 공진기와 유전체 공진기 간의 결합량을 나타내는 결합계수  $k$ 를 계산하여야 한다.[4][5]  $k$ 를 구하기 위해서 그림 6에서 보는 바와 같이 유전체 공진기는 인덕턴스  $L_r$  과 캐패시턴스  $C_r$ 을 갖는 페루프 형태의 공진회로로 등가 모델화할 수 있다. 이와같이 결합계수  $k$ 를 계산하기 위해서는 아래 식과 같이 주어진 필드 분포를 이용하여 자기 축적 에너지  $W_1$ , 상호 인덕턴스  $M$ , DR1의 미그네틱 다이폴을 형성하는 변위전류  $I_1$ ,  $I_1$ 이 DR2에 미치는 전압  $V_2$ 등을 구해야 한다.

$$k = \frac{M}{L_r} = \frac{V_2 I_1}{2j\omega W_1} \quad (8)$$

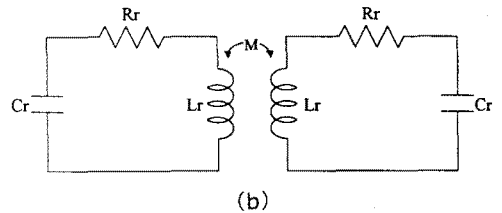
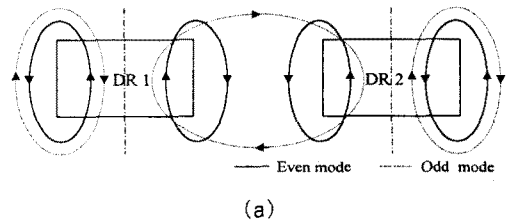


그림 6. 유전체 공진기 간의 결합 구조

(a) 결합구조 (b) 등가 회로

Fig 6. Coupling structure between DRs

(a) Coupling structure (b) Equivalent circuit

또한  $k$ 는 유전체 공진기와 유전체 공진기 사이의 거리에 대한 함수이므로  $k$ 값이 구해지면 그림 7과 같이 공진기 간에 거리를 구할 수 있다.

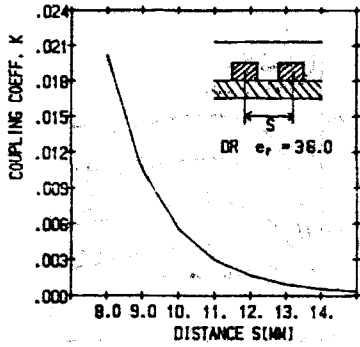


그림 7. 결합계수  $k$ 에 따른 유전체 공진기간의 거리  
Fig 7. Distance between DRs as a coupling coefficient  $k$

### 3. 결과 및 고찰

정규화(normalization)된 저역통과 표준형 필터의 파라미터값  $g_i$ 와 양 종단을 저항  $50[\Omega]$ 으로 정하였을 때 프로토타입 파라미터값을 아래 [표 1]에 정리하였다.

표 1. 정규화된 저역통과 표준형 필터의 파라미터 값  
Table 1. Normalized parameter value of lowpass prototype filter

$g_0$	1	$R_0$	50	$[\Omega]$
$g_1$	0.8472	$L_1$	321.17352	$[\text{nH}]$
$g_2$	1.3449	$C_1$	203.833	$[\text{pF}]$
$g_3$	1.6748	$L_2$	634.58172	$[\text{nH}]$
$g_4$	1.3449	$C_2$	203.833	$[\text{pF}]$
$g_5$	0.8472	$L_3$	321.17352	$[\text{nH}]$
$g_6$	1	$R_L$	50	$[\text{pF}]$

표 1을 주파수 변환(frequency transformation)과 역정규화(inverse normalization) 과정을 통해서 얻은 대역통과 프로토타입 필터 파라미터값은 표 2와 같이 구하였다.

표 2. 대역통과 프로토타입 필터 파라미터값  
Table 2. Parameter value of bandpass prototype filter

$R_0$	50	$[\Omega]$	$C_3$	0.025858	$[\Omega]$
$L_1$	112.3633898	$[\text{nH}]$	$L_4$	80.503136	$[\text{pH}]$
$C_1$	0.05118	$[\text{pF}]$	$C_4$	71.34916	$[\text{pF}]$
$L_2$	80.503136	$[\text{pH}]$	$L_5$	112.3633898	$[\text{nH}]$
$C_2$	71.34916	$[\text{pF}]$	$C_5$	0.05118	$[\text{pF}]$
$L_3$	222.127	$[\text{nH}]$	$R_L$	50	$[\text{nH}]$

표 3은 유전율  $\epsilon_r$ 이 36이고 공진주파수  $f_r$ 이 2.1GHz인 유전체 공진기의 크기로 외경  $a$ 와 내경  $b$ , 각각의 높이  $l$ 을 표시하였다.

표 3. 유전체 공진기 크기  
Table 3. Size of dielectric resonator

a	12	[mm]	$l_1$	5.955879	[mm]
			$l_2$	5.952375	[mm]
			$l_3$	5.945664	[mm]
b	3.4	[mm]	$l_4$	5.952375	[mm]
			$l_5$	5.955879	[mm]

그림 8은 이와 같은 결과를 바탕으로 EEsof touchstone을 이용하여 DR 세라믹 대역통과 필터를 시뮬레이션 한 결과이다.

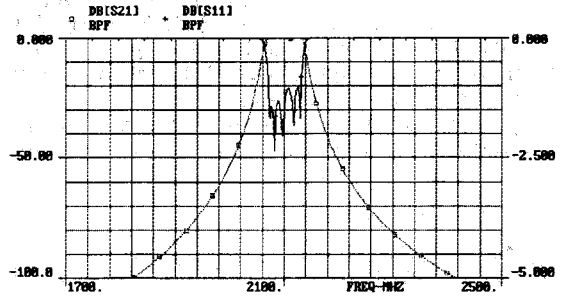


그림 8. 시뮬레이션 결과  
Fig. 8 Simulation result

### 4. 결 론

본 연구에서는 2.1GHz대역에서 작동하는 DR 세라믹 대역통과 필터 설계 및 시뮬레이션 한 결과 그림 8과 같이 중심 주파수  $f_0$ 는 약 2.1GHz, 대역폭(Band Width)는 약  $\pm 30\text{MHz}$ 로 공진하는 특성을 볼 수 있었다. 또한 5-pole 필터특성과 리플레벨(ripple level)  $d$  약 0.02dB의 결과를 볼 수 있었다. 이와 같이 설계 목적과 잘 맞는 시뮬레이션 특성을 볼 수 있었으며 실제로 필터를 제작시 양질의 필터를 생산할 수 있을 것으로 기대된다.

### [참 고 문 헌]

- (1) 김지균, 이현용, 윤중락, "1.9GHz대의 적층 칩 세라믹 대역통과 필터 설계 및 시뮬레이션," 전기전자재료학회는 문지, Vol. 12, pp.207-213, March 1999.
- (2) Vincent F.Fusco, Microwave Circuits, Analysis and Computer-aided Design, Pentice-Hall International, 1987.
- (3) T.D. Iveland, "Dielectric resonator filters for applications in microwave integrated circuits", IEEE Trans. Microwave Theory Tech., vol. MTT-19, no. 7, pp. 643-652, July 1971.
- (4) J.K.Plourde and C.L.Ren, "Application of dielectric resonators in microwave componets", IEEE Trans. Microwave Theory Tech., vol. MTT-29, no. 8, pp.754-770, August 1981.
- (5) P.Guillon, B.Byzery and M.haubet, "Coupling parameters between a dielectric resonator and a microstripline", IEEE Trans. Microwave Theory Tech., vol. MTT-33, no. 3, pp. 222-226, March 1985.
- (6) Toshio Ishzaki, "A Very Small Dielectric Planar Filter for Portable Telephone," IEEE Trans. on Microwave Theory and Techniques, Vol. MTT-42, pp.2017-2022, November 1994.
- (7) A.D.Vincze, "Practical Design Approach to Microstrip Combine-type Filter," IEEE Trans. on Microwave Theory and Techniques, Vol. MTT-22, pp. 1171-1181, December 1974.
- (8) E.M.T.Jones and J.T.Bolljahn, "Coupled Strip Transmission Line Filters and Directional Couplers," IEEE Trans. on Microwave Theory and Techniques, Vol. MTT-4, pp.75-81, April 1956.
- (9) Kazuo Washida, "Chip Monolithic LC Filters Move Into High-Frequency Use," JEE, pp. 48-52, October 1991.