

온도 변화에 안정한 유전체 Stepped-Impedance Resonator의 정확한 설계

임 상 규, 김 덕 환, 안 철
 서강대학교 전자공학과
 서울시 마포구 신수동 1. (121-742)
 e-mail : s297032@ccs.sogang.ac.kr

The Accurate Design of a Temperature Stable Dielectric Stepped-Impedance Resonator

Sang-Kyu Lim, Duck-Whan Kim, Chul An
 Department of Electronic Engineering, Sogang University
 1 Sinsoo-Dong, Mapo-Gu, Seoul, Korea
 e-mail : s297032@ccs.sogang.ac.kr

Abstract

This paper presents the design method of a temperature stable stepped-impedance resonator using composite material. In this method temperature coefficient of dielectric constant (τ_ϵ) and thermal expansion coefficient (α_L) of dielectric material were considered. $Ba(Zn_{1.3}Nb_{2.3})O_3$ and $CaZrO_3$ as composite material having opposite signs of temperature coefficient of dielectric constant were selected. The length of this resonator for the temperature stability of resonance frequency was calculated at 900MHz, 1.4GHz and 1.9GHz. It was found that the ratio of the length of positive τ_ϵ material to the length of negative τ_ϵ material is constant at various resonance frequencies.

I. 서 론

유전율과 유전손실 특성은 우수하지만 공진주파수의 온도계수가 큰 양(+의 값을 가졌거나 혹은 음(-)의 값을 지녀 실제 활용되지 못하고 있는 마이크로파 유전체를 유전체 공진기나 이를 이용한 대역통과 필터 등에 응용할 수 있는 SIR(Stepped Impedance Resonator)의

설계 방법이 보고되었었다.^{[1][2]} 이 방법에서 접합된 SIR은 유전율의 온도계수(τ_ϵ)가 서로 상반된 값을 지닌 두 유전체의 접합으로 이루어져 있으며 공진주파수의 온도 안정성을 확보하기 위하여 공진조건과 유전체의 온도 특성으로부터 각각의 유전체가 차지해야 하는 길이조건이 구해졌다. 그러나 이 길이조건은 유전체의 선형 열팽창 계수(α_L)가 유전율의 온도계수에 비해 매우 작아 온도 변화에 따른 유전체의 길이 변화를 무시할 수 있을 경우에 적용되는 근사식이다.

본 연구에서는 마이크로파 유전체의 온도 변화에 따른 유전율의 변화와 길이 변화가 함께 고려되어 다양한 온도 특성을 지닌 여러 유전체들에 대해서도 공진주파수의 온도 안정성이 유지되도록 하는 접합 SIR의 설계 방법을 제안하였다. 따라서 앞서 제안된 온도 변화에 안정한 공진주파수를 갖도록 하는 길이조건에 관한 식들이 변형·보완되었으며, 이를 검증하기 위하여 $Ba(Zn_{1.3}Nb_{2.3})O_3$ ($\tau_\epsilon = -77$ ppm/°C, $\alpha_L = 11.7$ ppm/°C^[3])과 $CaZrO_3$ ($\tau_\epsilon = 40$ ppm/°C, $\alpha_L = 8.55$ ppm/°C^{[4][5]})의 경우에 대해 각각의 길이가 공진주파수 900MHz, 1.4GHz 및 1.8GHz에서 수치해석을 통해 구해졌고, 이로부터 온도 변화에 안정하기 위한 길이비가 존재한다는 것을 확인하였다. 또한 각 부분의 유전체의 위치가 서로 바뀌었을 경우 각각이 차지하는 길이가 변하여 공진기의 전체 길이 또한 변하게 되므로 공진기의 전체 길이를 짧게 하기 위해서는 어떤 순서로 접합이 이루어져야 하는지를 알 수 있었다.

II. 접합 SIR의 설계

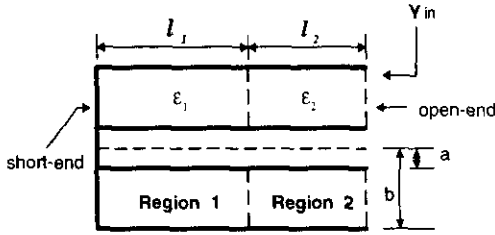


그림 1. 접합 구조를 갖는 유전체 SIR의 단면도

위의 그림 1은 공진기의 내경이 a이고 외경이 b이며, 서로 상반된 유전율의 온도계수를 지닌 두 종류의 유전체로 채워진 동축형 접합 유전체 공진기의 단면을 나타낸 것으로 ε₁과 ε₂는 각 부분의 유전율을 가리키고 있다. 이 구조에서 임의의 온도 T₁일 때, 공진기의 공진조건은 개방면에서 들여다 본 입력 어드미턴스 Y_{in} = 0 으로부터 식(1)과 같이 표현되며, 식(1)에서 Y₁과 Y₂는 각 부분의 특성 어드미턴스이고, β₁과 β₂는 각 부분의 전파상수로 식(2)와 식(3)으로 표현된다. 따라서 식(3)을 이용하면 식(1)의 공진조건은 식(4)와 같이 쓸 수 있다.

$$\tan(\beta_1 l_1)\tan(\beta_2 l_2) = \frac{Y_1}{Y_2} = \sqrt{\frac{\epsilon_1}{\epsilon_2}} = K \quad (1)$$

$$Y_1 = \frac{\sqrt{\epsilon_1}}{60 \ln(\frac{b}{a})}, \quad Y_2 = \frac{\sqrt{\epsilon_2}}{60 \ln(\frac{b}{a})} \quad (2)$$

$$\beta_1 = \frac{2\pi f_0 \sqrt{\epsilon_1}}{c}, \quad \beta_2 = \frac{2\pi f_0 \sqrt{\epsilon_2}}{c} \quad (3)$$

$$\tan\left(\frac{2\pi f_0 \sqrt{\epsilon_{r1}}}{c} l_1\right) \tan\left(\frac{2\pi f_0 \sqrt{\epsilon_{r2}}}{c} l_2\right) = \sqrt{\frac{\epsilon_{r1}}{\epsilon_{r2}}} \quad (4)$$

한편, 유전체의 공진주파수의 온도계수(τ_f)는 식(5)와 같이 정의되며, 식(5)로부터 공진주파수의 온도 안정성은 유전율의 온도계수(τ_ε)와 유전체의 열팽창계수(α₁)에 의해 결정된다는 것을 알 수 있다^[6]. 그리고 τ_ε은 식(6)과 같이 정의되므로, 식(4)의 공진조건에서 온도 변화에 따른 유전율의 변화와 유전체 길이의 변화를 고려하면, 임의의 온도 T₂일 때 공진조건은 식(7)과 같이 변화하게 된다.

$$\tau_f = \frac{1}{f_0} \frac{\partial f_0}{\partial T} = -\left(\frac{1}{2} \tau_\epsilon + \alpha_L\right) \quad (5)$$

$$\tau_\epsilon = \frac{1}{\epsilon_r} \frac{\partial \epsilon_r}{\partial T} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} & \tan\left(\frac{2\pi f_0 \sqrt{\epsilon_1(1+\tau_{\epsilon_1}\Delta T)}}{c} l_1(1+\alpha_{L1}\Delta T)\right) \\ & \cdot \tan\left(\frac{2\pi f_0 \sqrt{\epsilon_2(1+\tau_{\epsilon_2}\Delta T)}}{c} l_2(1+\alpha_{L2}\Delta T)\right) \\ & = \sqrt{\frac{\epsilon_1(1+\tau_{\epsilon_1}\Delta T)}{\epsilon_2(1+\tau_{\epsilon_2}\Delta T)}} \quad (7) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \tan^{-1}\left(\frac{\sqrt{\frac{\epsilon_1(1+\tau_{\epsilon_1}\Delta T)}{\epsilon_2(1+\tau_{\epsilon_2}\Delta T)}}}{\tan\left(\frac{2\pi f_0 \sqrt{\epsilon_2(1+\tau_{\epsilon_2}\Delta T)}}{c} l_2(1+\alpha_{L2}\Delta T)\right)}\right) \\ & \tan^{-1}\left(\frac{\sqrt{\frac{\epsilon_1}{\epsilon_2}}}{\tan\left(\frac{2\pi f_0 \sqrt{\epsilon_2}}{c} l_2\right)}\right) \\ & = (1+\alpha_{L1}\Delta T) \sqrt{1+\tau_{\epsilon_1}\Delta T} \quad (8) \end{aligned}$$

따라서 공진주파수가 온도 변화에 안정하기 위해서는 동일한 공진주파수 f₀에서 식(4)와 식(7)을 동시에 만족시켜야 하므로 식(4)와 식(7)을 연립하여 풀면, 위의 식(8)을 얻을 수 있다. 식(8)은 유전체의 온도 특성이 모두 고려되었으므로, 접합 SIR의 각 부분의 유전체에 대하여 유전율과 유전율의 온도계수, 그리고 열팽창계수가 알려지면 온도 변화에 매우 안정한 공진주파수를 갖도록 하는 각 부분의 길이 l₁과 l₂를 얻을 수 있음의 의미한다.

III. 시뮬레이션

그림 1의 Region 1에 음(-)의 유전율의 온도계수(τ_ε)를 지닌 Ba(Zn_{1.3}Nb_{2.3})O₃(BZN)을 그리고 Region 2에 양(+)의 τ_ε을 지닌 CaZrO₃(CZ)를 선택하여 온도 변화에 안정한 SIR을 설계하였다.

표 1은 BZN과 CZ의 유전 특성과 온도 특성을 나타낸 것이고, 표 2는 이들 값들과 식(8)을 이용하여 수치 해석을 통해 공진주파수 900MHz, 1.4GHz 및 1.9GHz에서 공진주파수가 온도 변화에 안정하기 위한 각각의 길이들을 구한 것이다. 그리고 표 3은 BZN과 CZ의 위치가 서로 바뀌었을 경우, 즉 Region 1에서는 CZ를 선택하고 Region 2에서는 BZN을 선택하였을 경우 얻어진 길이값들을 나타낸 것이다.

표 2와 표 3으로부터 공진주파수가 온도 변화에 안정하기 위한 길이비(l₁/l₂)는 공진주파수에 관계없이 일정하다는 것을 알 수 있고, 공진기의 전체 길이를 짧게 하기 위해서는 Region 1에서 Ba(Zn_{1.3}Nb_{2.3})O₃를 선택하고 Region 2에서는 CaZrO₃를 선택하는 것이 유리하다는 것을 알 수 있다.

표 1. BZN과 CZ의 유전 특성 및 온도 특성

	Ba(Zn _{1/3} Nb _{2/3})O ₃	CaZrO ₃
ϵ_r	40	30
τ_ϵ (ppm/°C)	-77	40
α_L (ppm/°C)	11.7	8.55

표 2. 공진주파수 변화에 따른 각 부분의 길이값
(Region 1 : BZN, Region 2 : CZ)

공진주파수 f_0	900 MHz	1.4 GHz	1.9 GHz
l_1 (mm)	9.93163	6.38462	4.70446
l_2 (mm)	4.24691	2.73016	2.01170
전체길이 l_t (mm)	14.17854	9.11478	6.71615
l_1 / l_2	2.33855	2.33855	2.33855

표 3. 공진주파수 변화에 따른 각 부분의 길이값
(Region 1 : CZ, Region 2 : BZN)

공진주파수 f_0	900 MHz	1.4 GHz	1.9 GHz
l_1 (mm)	11.12634	7.15265	5.27037
l_2 (mm)	3.10333	1.99500	1.47000
전체길이 l_t (mm)	14.22967	9.14765	6.74037
l_1 / l_2	3.58529	3.58529	3.58529

그림 2는 τ_ϵ 과 α_L 이 모두 고려되어 설계된 BZN-CZ 접합 SIR의 공진주파수의 온도 특성을 알아보기 위하여 표 2의 값들중 900MHz의 경우를 선택하여 시뮬레이션을 행한 결과를 나타낸 것으로 공진주파수가 온도 변화에 매우 안정하다는 것을 알 수 있다. 한편, α_L 이 작다고 가정하여 그 영향을 무시하고 설계한 경우 그림 3에서 볼 수 있듯이 100°C 온도 변화에 대해 공진주파수가 1MHz 아래쪽으로 이동한 것을 볼 수 있다. 이는 그림 4에서 볼 수 있는 BZN으로만 이루어진 UIR(Uniform Impedance Resonator)의 온도 특성(주파수 변화 폭 : 2.4MHz)에 비해 개선된 것이지만 그림 2와 비교해 볼 때, 근사식의 한계를 완전히 벗어 나지는 못한 것이다. 따라서 본 연구의 설계 방법을 이용하여 접합 SIR을 설계한다면 다양한 온도 특성을 지닌 보다 많은 종류의 유전체들을 이용하여 온도 변화에 매우 안정한 공진기를 설계할 수 있을 것이다.

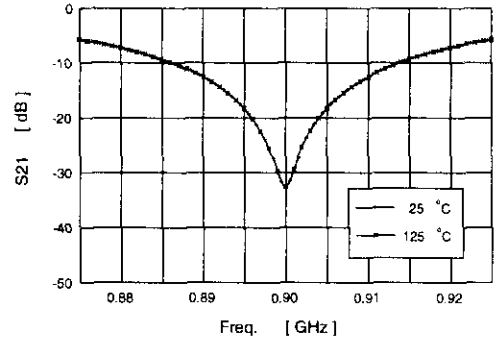


그림 2. τ_ϵ 과 α_L 이 모두 고려되어 설계된 BZN-CZ 접합 SIR의 공진주파수의 온도 특성

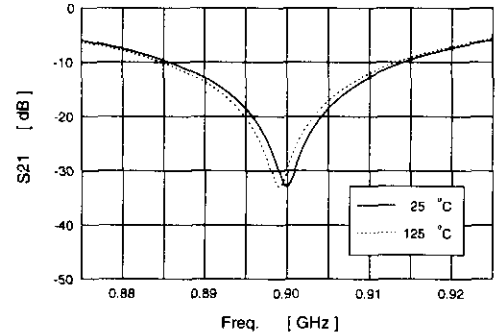


그림 3. α_L 을 고려치 않고 설계된 BZN-CZ 접합 SIR의 공진주파수의 온도 특성

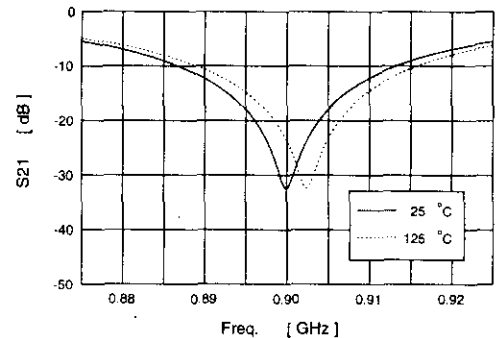


그림 4. BZN UIR의 공진주파수의 온도 특성

IV. 결 론

본 연구에서는 마이크로파 유전체의 온도 변화에 따른 유전율의 변화와 길이 변화가 함께 고려되어 다양한 온도 특성을 지닌 여러 유전체들에 대해서도 공진 주파수의 온도 안정성이 유지되도록 하는 접합 SIR의 설계 방법을 제안하였다. 따라서 유전체의 열팽창계수가 유전율의 온도계수에 비해 매우 작다고 가정하여 전개된 설계식들이 보정되었으며, 이를 검증하기 위하여 $Ba(Zn_{1.3}Nb_{2.3})O_3$ 과 $CaZrO_3$ 의 경우에 대해 각각의 길이가 공진주파수 900MHz, 1.4GHz 및 1.8GHz에서 수치해석을 통해 구해졌고, 시뮬레이션을 통해 온도 변화에 따른 공진주파수의 안정성이 확인되었다. 또한 이 방법으로 설계된 접합 SIR의 경우, 온도 변화에 안정하기 위한 길이비(l_1/l_2)는 공진주파수에 무관하게 일정하다는 것을 확인하였고, 각 부분의 유전체의 위치가 서로 바뀌었을 경우 각각이 차지하는 길이가 변하여 공진기의 전체 길이가 달라짐을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] 임상규 외, "접합된 Stepped Impedance Resonator를 이용한 온도보상형 유전체 대역통과 필터," 전자공학회 논문지-D, vol. 35-D, No. 2, pp. 78~85, 1998.
- [2] 임상규, 하종수, 오창현, 안 철, "동축형 Stepped Impedance Resonator를 이용한 유전체 대역통과 필터의 설계," 전자공학회 추계종합 학술대회 논문집, vol. 20, No. 2, pp. 600~603, 1997.
- [3] Shoichiro Nomura, Keiichiro Toyama, and Kumiko Kaneta, "Dielectric Properties of Ceramics in the $Ba(Zn_{1.3}Nb_{2.3})O_3$ - $Sr(Zn_{1.3}Nb_{2.3})O_3$ Solid Solutions," *Proc. 4th Meeting on Ferroelectric Materials & Their Applications, Kyoto, 1983, Jpn. J. Appl. Phys.*, vol. 22, Supplement 22-2, pp. 83~86, 1983.
- [4] R. C. Kell, A. C. Greenham, and G. C. E. Olds, "High-Permittivity Temperature-Stable Ceramic Dielectrics with Low Microwave Loss," *J. Am. Ceram. Soc.*, vol. 56, No. 7, pp. 352~354, 1973.
- [5] Donald L. Branson, "Thermal Expansion Coefficients of Zirconate Ceramics," *J. Am. Ceram. Soc.*, vol. 48, No. 8, p. 441, 1965.
- [6] A. J. Moulson and J. M. Herbert, *Electroceramics : Materials · Properties · Applications*, Chapman & Hall, pp. 233~241, 1990.