

유효 유전율을 이용한 MIC 구조에서의 유전체 공진기 양호도 측정

탁윤도⁰, 최준호, 이주섭*, 김영식
고려대학교 전파공학과, LG 정보통신*

Q-Factor Measurement of a Dielectric Resonator in an MIC Environment Using Effective Dielectric Constant

Youn-Do Tak⁰, Jun-Ho Choi, Juseop Lee*, Young-Sik Kim
Dept. of Radio Engineering, Korea University, Seoul, Korea
LG Information & Communication, Ltd.*

ABSTRACT

In this paper, Q-factor measurement method for a dielectric resonator in an MIC environment using the effective dielectric constant is proposed. The effective dielectric constant technique is applied to both radial and axial directions. The proposed method shows that the accuracy of the Q-factor measurement is to be improved with 2% ~ 3% relative error.

I. 서론

유전체 공진기는 높은 유전율을 갖는 세라믹 물질로 구성되며 다른 공진기에 비하여 그 크기가 작아서 MIC 구조에 쉽게 집적시킬 수 있는 장점이 있다 [1]. 또한 온도에 안정하면서도 높은 양호도를 가질 뿐만 아니라 공진주파수의 미세조정이 용이하므로 마이크로파 대역에서의 필터 및 발진기 등에 널리 응용되고 있다 [2, 3].

유전체 공진기의 대표적인 유전특성으로는 유전체 공진기의 공진주파수와 양호도 등이 있다. 이 중에서 양호도는 공동(cavity), 평행 도체판 또는

MIC 구조에서 투과계수나 반사계수등을 측정하여 구할 수 있다 [4].

유전체 공진기의 양호도의 측정에서는 주변 도체에 의한 손실이 큰 영향을 미치게 되는데, 공동을 이용한 구조의 경우 공동의 크기가 일정한 비율을 가지게 되면 주변 도체의 영향없이 유전체의 양호도를 측정할 수 있는 장점이 있지만 [4]. 이 경우엔 사용되는 주파수에 따라 서로 다른 크기의 공동을 제작해야 되는 단점이 있다.

평행 도체판을 이용하는 방법의 경우, 평행한 두개의 도체판 사이에 유전체 공진기를 삽입하여 측정하게 되므로, 공동을 이용하는 경우와 달리

공진주파수에 상관없이 사용이 가능하다. 뿐만 아니라 유전체 공진기 내부와 주변 영역에서의 전자계 분석이 용이하여, 도체판에 의한 손실을 계산을 통하여 쉽게 보정할 수 있는 장점이 있다. 그러나 이 경우에도 높은 공진주파수의 유전체 공진기는 크기가 작아서 측정이 곤란해지는 단점이 있다.

MIC 구조를 사용하면, 크기의 제한없이 공진기의 양호도를 측정할 수 있지만, 유전체 내부와 주변영역에서의 전자계 해석이 근사적이므로 이로 인한 오차가 발생하여 양호도의 계산이 부정확하다.

본 논문에서는, 이러한 단점을 보정하기 위해, MIC 구조의 측정법에 유전체 공진기의 유효 유전율을 반지름 방향과 회전축 방향으로 계산하여 적용하였다.

II. 링 유전체 공진기의 전자계 분포

MIC 구조상에서의 링 유전체 공진기의 구조는 아래 그림 1과 같으며, 공진기 주변의 각 영역에서의 H_z 성분은 DWM을 적용하여 아래와 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 H_{z1}(r) &= H_0 A_1 Z_0(hr) \sinh\{-\alpha_1(z-s)\} \\
 H_{z2}(r) &= H_0 A_2 Z_0(hr) \{\cos(\beta z) + B_2 \sin(\beta z)\} \\
 H_{z3}(r) &= H_0 A_3 Z_0(hr) \sinh\{\alpha_3(z+t)\} \\
 H_{z4}(r) &= H_0 A_4 I_0(pr) \sinh\{-\alpha_4(z-s)\} \\
 H_{z5}(r) &= H_0 A_5 I_0(pr) \{\cos(\beta z) + B_5 \sin(\beta z)\} \\
 H_{z6}(r) &= H_0 A_6 I_0(pr) \sinh\{\alpha_6(z+t)\} \\
 H_{z7}(r) &= H_0 A_7 K_0(pr) \sinh\{-\alpha_7(z-s)\} \\
 H_{z8}(r) &= H_0 A_8 K_0(pr) \{\cos(\beta z) + B_8 \sin(\beta z)\} \\
 H_{z9}(r) &= H_0 A_9 K_0(pr) \sinh\{\alpha_9(z+t)\}
 \end{aligned}$$

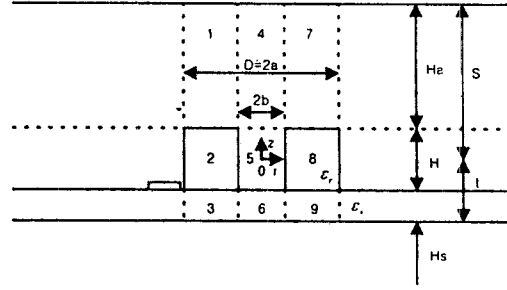


그림 1. MIC 구조에서의 링유전체 공진기

III. MIC 구조에서의 양호도 계산

위에서 구한 H_z 성분을 이용하여 맥스웰 방정식으로부터 전계성분을 구하면, 각 영역별로 저장되는 전기에너지 값을 아래와 같이 구할 수 있다 [5].

$$\begin{aligned}
 W_{e1} &= H_0^2 \frac{\omega^2 \mu_0^2 \epsilon_0 \pi}{2h^2} A_1^2 \left(\frac{a^2}{2} J_a - \frac{b^2}{2} J_b \right) \\
 &\quad \times \frac{1}{4\alpha_1} [\sinh 2\alpha_1 H_s - 2\alpha_1 H_s] \\
 W_{e2} &= H_0^2 \frac{\omega^2 \mu_0^2 \epsilon_0 \epsilon_r \pi}{2h^2} \left(\frac{a^2}{2} Z_a - \frac{b^2}{2} Z_b \right) \\
 &\quad \times \frac{H}{2} \left[1 + \frac{\sin \beta H}{\beta H} + B_2^2 \left(1 - \frac{\sin \beta H}{\beta H} \right) \right] \\
 W_{e3} &= H_0^2 \frac{\omega^2 \mu_0^2 \epsilon_0 \epsilon_r}{2h^2} A_3^2 \left(\frac{a^2}{2} Z_a - \frac{b^2}{2} Z_b \right) \\
 &\quad \times \frac{1}{4\alpha_3} [\sinh 2\alpha_3 H_s - 2\alpha_3 H_s] \\
 W_{e4} &= H_0^2 \frac{\omega^2 \mu_0^2 \epsilon_0}{2p^2} A_4^2 \frac{b^2}{2} \\
 &\quad \times \frac{H}{2} \left[1 + \frac{\sin \beta H}{\beta H} + B_2^2 \left(1 - \frac{\sin \beta H}{\beta H} \right) \right] \\
 W_{e5} &= H_0^2 \frac{\omega^2 \mu_0^2 \epsilon_0}{2p^2} A_5^2 \frac{a^2}{2} K \\
 &\quad \times \frac{H}{2} \left[1 + \frac{\sin \beta H}{\beta H} + B_5^2 \left(1 - \frac{\sin \beta H}{\beta H} \right) \right] \\
 W_{e6} &= H_0^2 \frac{\omega^2 \mu_0^2 \epsilon_0}{2p^2} A_6^2 \frac{a^2}{2} K \\
 &\quad \times \frac{H}{2} \left[1 + \frac{\sin \beta H}{\beta H} + B_2^2 \left(1 - \frac{\sin \beta H}{\beta H} \right) \right]
 \end{aligned}$$

한편, 각 영역의 도체면에서의 손실은 다음과 같이 구해진다 [5].

$$P_{c1} + P_{c2} = \frac{\pi H_0^2 (R_{m1} \alpha_1^2 A_1^2 + R_{m2} \alpha_2^2 A_2^2)}{2h^2} \times (a^2 Z_a - b^2 Z_b)$$

$$P_{c4} + P_{c6} = \frac{\pi H_0^2 (R_{m4} \alpha_4^2 A_4^2 + R_{m6} \alpha_6^2 A_6^2)}{2p^2} \times b^2 l$$

$$P_{c3} + P_{c5} = \frac{\pi H_0^2 (R_{m3} \alpha_3^2 A_3^2 + R_{m5} \alpha_5^2 A_5^2)}{2p^2} \times a^2 K$$

여기서 R_m 와 R_s 은 위아래 도체면의 표면저항을 의미한다.

위 식을 이용하여 Q_c 값과 Q_v 값을 아래와 같이 구할 수 있다.

$$Q_c = \frac{2\omega \sum W_{ei}}{\sum P_{ei}}$$

$$Q_v = \left(\frac{1}{Q_a} + \frac{1}{Q_s} \right)^{-1}$$

따라서 위의 관계식을 이용하면, 측정된 Q_v 값으로부터 기판의 유전체를 제외한 유전체 공진기 내부의 양호도를 아래와 같이 구할 수 있다.

$$Q_v = \frac{1}{\tan \delta_{eff}} = W_{e2} \left[\frac{\sum W_{ei}}{Q_v} - W_{e3} \tan \delta_r \right]^{-1}$$

IV. 유효유전율의 적용

MIC 구조에서는 전자계 해석이 근사적으로 이루어지기 때문에, 각 영역에서의 전기에너지와 도체에 의한 영향들이 정확하게 고려되기 어렵게 된다. 따라서 이로 인한 오차를 줄이기 위해 유효 유전율의 개념을 도입하여 유전체 내부에 적용하였다.

그림 1의 MIC 구조에서 유전체 공진기의 유효

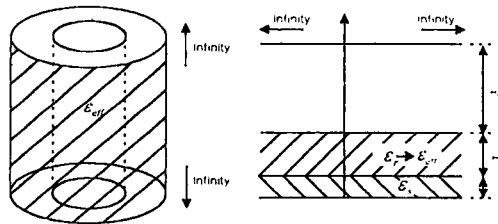
유전율은 아래와 같이 주어진다 [6, 7].

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_1 H_1 + \epsilon_2 H_2}{H_1 + H_2}$$

위의 경우 반지름 방향으로의 영향만을 고려한 것이므로 회전축 방향의 성분으로 인한 오차가 발생하게 된다. 따라서 이와 같은 오차값의 영향을 보다 줄이기 위해서, 아래 그림과 같이 반지름 방향과 회전축 방향의 영향을 고려한 유효 유전율을 각각 구하여 이 두값의 평균치를 유전체 내부에 적용하게 되면 보다 정확하게 유전체 공진기의 양호도를 구할 수 있다. 각각의 유효유전율은 아래와 같이 주어진다 [7].

$$\epsilon_{eff1} = \epsilon_r \frac{F_1}{F_1 + F_2 + F_3}$$

$$\epsilon_{eff2} = \epsilon_r \frac{\int_0^a |J_0(hx)| dx}{\int_0^a |J_0(hx)| dx + \int_a^\infty |A_n K_n(px)| dx}$$



(a) 회전축 방향

(b) 반지름 방향

그림 2. 유효 유전율을 각각 적용했을때의 구조

양쪽 방향으로의 영향을 모두 고려한 유효 유전율은 아래와 같이 산술평균값으로 정의한다.

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_{eff1} + \epsilon_{eff2}}{2}$$

V. 실험 및 결과

링 유전체 공진기를 이용하여 (MURATA사의 DRT127U040C056과 DRT077U020C034) MIC 구조에서의 유전체 공진기의 양호도를 측정하였다. 유효 유전율을 적용하지 않는 방법과 유효 유전율을 적용하는 방법들 각각에 따라 유전체 공진기의 양호도를 계산하였으며, 구해진 실험치의 비교를 위해 제조사에서 제공하는 QF 값 (양호도×공진주파수)을 기준으로 사용하였다. 각 공진기의 공진주파수는 약 4.7 GHz (유전체 공진기 1) 및 7.6 GHz (유전체 공진기 2) 이다.

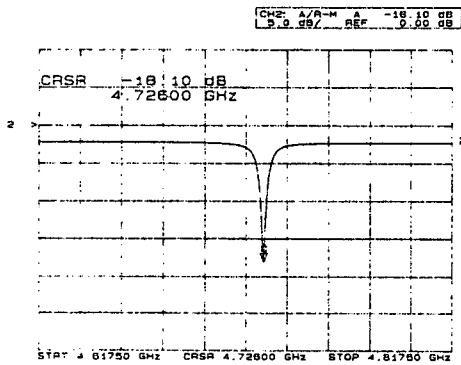


그림 3 MIC 구조에서의 유전체 공진기 1의 S₂₁

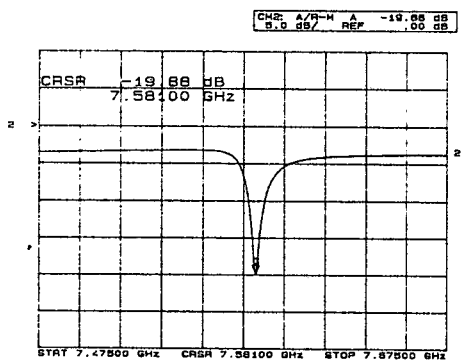


그림 4 MIC 구조에서의 유전체 공진기 2의 S₂₁

표 1. 유전체 공진기 1의 공진 특성

	Fr [GHz]	IL [dB]
Sample1	4.704	20.37
Sample2	4.712	19.77
Sample3	4.716	19.67
Sample4	4.696	19.45
Sample5	4.726	18.10
Sample6	4.722	18.36

표 2. 유전체 공진기 2의 공진 특성

	Fr [GHz]	IL [dB]
Sample1	7.58050	17.05
Sample2	7.57600	18.01
Sample3	7.58100	19.88
Sample4	7.57500	19.99

각각의 방법에 따라 유전체 공진기의 내부 양호도를 계산하면 다음과 같다.

표 3. 유전체 공진기 1의 QF 값

	QF (방법1)	QF (방법2)	QF (방법3)	QF (기준)
Sample1	36391	35775	47477	49350
Sample2	36459	35859	47407	49350
Sample3	36448	35839	47426	49350
Sample4	38314	37651	50752	49350
Sample5	37469	39468	48549	49350
Sample6	37900	37307	49465	49350

표 4. 유전체 공진기 2의 QF 값

	QF (방법1)	QF (방법2)	QF (방법3)	QF (기준)
Sample1	39652	39285	47734	49210

Sample2	39627	39256	47756	49210
Sample3	40792	40407	49388	49210
Sample4	40183	39807	48530	49210

여기에서 방법 1은 유효 유전율을 적용하지 않았을 때의 결과를 나타내는 것이며, 방법 2는 반지름 방향으로만 유효 유전율을 적용하여 계산한 결과를 나타낸다. 방법 3은 본 논문에서 제안한 바와 같이 반지름 방향과 회전축 방향으로 모두 유효 유전율을 고려하여 계산한 결과를 나타내는 것이다.

방법 3을 적용 할 때의 상대오차는 대체적으로 2% ~ 3% 정도가 되며 방법 1과 2의 경우는 오차 값이 이보다 큰 15% 이상의 값을 갖는다. 따라서, 위의 실험 결과로부터 본 논문에서 제안하는 방법을 이용하면 보다 정확하게 유전체 공진기의 양호도를 Q_c 측정값으로부터 구해낼 수 있음을 알 수 있다.

VI. 결론

일반적으로 유전체 공진기의 양호도를 측정하기 위한 방법에는 공동을 이용하거나 평행 도체판을 이용하는 방법이 있지만, 이것들은 그 사용에 있어서 제약사항이 많아 높은 공진 주파수의 유전체 공진기를 측정하기에는 적합하지 못하다.

MJC 구조를 이용한 측정방법은 높은 공진 주파수의 유전체 공진기의 유전 특성에도 적용이 가능하지만, 이 방법에서는 전자계의 근사적인 해석으로 인한 오차를 고려해야 한다. 본 논문에서는 이를 위해 반지름 방향과 회전축 방향 모두에 대해서 유효 유전율을 적용하였으며, 이 방법을 이용하면 상대오차가 2% ~ 3%정도가 되어 다른 방법에 비하여 보다 정확하게 유전체 공진기의 양호도를 측정할 수 있다.

참고 문헌

- [1] L. A. Trinogga et al., *PRACTICAL MICROCROSTRIP CIRCUIT DESIGN*, Ellis Horwood, 1991.
- [2] Osamu Ishihara, Tetsuro Mori, Hiroshil Sawano, and Masaki Nakatani, "A Highly Stabilized GaAs FET Oscillator Using a Dielectric Resonator Feedback Circuit in 9-14 GHz," *IEEE Transaction on Microwave Theory and Technique*, MTT-28, No.8, 1980, pp. 817-824.
- [3] A. P. S. Khanna, "Understanding DRO Design Method and Operation," *Microwaves & RF*, 1992, pp.120-124.
- [4] Darko Kajfez and Pierre Guillon, *Dielectric Resonators*, ARTECH HOUSE, 1998, 2nd Ed.
- [5] 이주섭, 한영훈, 윤원상, 임상호, 김영식, "MIC 구조에서의 링 유전체 공진기의 양호도," *한국통신학회 논문지*, vol. 24, No. 3B, 1999, pp. 492-499.
- [6] R. K. Mongia, "Resonant Frequency of Cylindrical Dielectric Resonator Placed in an MIC Environment," *IEEE Transaction on Microwave Theory and Technique*, MTT-38, No.6, 1990, pp.802-804.
- [7] 이주섭, 한상민, 황호탁, 김영식, "유효유전율을 이용한 원통형 및 링 유전체 공진기의 공진주파수 계산," *한국통신학회 논문지*, vol.24, No.1B, 1999, pp.115-121.