

페라이트 소재변수에 따른 아이솔레이터 특성 연구

전동석, 이홍열, 김동영, 이상석
한국전자통신연구원 유전체RF소자팀

Characteristics of Isolator for material parameter

Dong-suk jun*, Hong-yeol Lee, Dong-young Kim, Sang-seak Lee
Electronics Telecommunications Research Institute Dielectric Radio Frequency Device Team

Abstract

This paper describes characteristics for insertion losses of Isolator have an effect on material parameter. One purpose of the paper is to present insertion loss on this resonator for magnetic loss, dielectric loss, magnetic field and saturation magnetization. Another is to study the effect of propeller resonator on response characteristics. In this paper, the analysis and measurement of the response characteristics were carried out for the isolator prototype. The measurement results agreed on the simulation results and acquire insertion loss 0.18 ~ 0.24dB, return loss 27dB, isolation 27dB and bandwidth 500MHz on this condition saturation magnetization 550G, dielectric loss 0.0004. magnetic loss 20 and dielectric constant 14.

Key Words : Isolator, magnetic wall, magnetization

1. 서 론

마이크로파 대역에서 페라이트 자성체의 Gyrotropic 성질을 이용한 아이솔레이터와 같은 비가역 소자는 통신기기들의 상호 간섭을 줄여줄 뿐 아니라 핵심 부품의 보호, 임피던스 정합용으로 수 GHz에서 수백GHz까지 광범위하게 사용되는 마이크로파 통신, 이동통신, 위성통신 등에 부품으로 사용되고 있다.

자이로마그네틱 재료에 대한 아이솔레이터, 페라이트 위상변위기의 설계는 공진 아래 모드(below mode), 혹은 공진 위 모드(above mode)를 기본으로 하고 있다. 또한 설계는 설계 규격 뿐만 아니라 소재의 변수에 영향을 많이 받는다. 특히 자성체는 유전체와 달리 소재 변수에 민감하게 변화되는 현상이 있다. 최근에 서큘레이터의 삽입손실이 문제 시 되는데, 이는 재료의 변수에 의해 문제가 되고 있다.

따라서 본 논문에서는 공진기 구조, 페라이트의 포화자화도, 페리자성공명 반치폭(ΔH), 유전손실($\tan \delta$)과 외부인가 자계 세기의 재료적 특성에 대한 삽입손실을 분석 연구하였다.

2. 실 험

프로펠러형 공진기 아이솔레이터의 구조는 그림 1과 같은 3대칭으로 구성되어있다. 평면형 아이솔레이터 구조에서 z방향으로의 전계 E_z 는 식(1)의 파동방정식을 만족한다.[1,2]

$$(\nabla^2 + k_{eff}^2)E_z = 0 \quad (1)$$

여기서

$$k_{eff} = k_o \sqrt{\mu_{eff} \cdot \epsilon_o} \quad (2)$$

$$\mu_{eff} = \frac{\mu^2 - K^2}{\mu} = \frac{(p + \sigma)^2 - 1}{\sigma^2 + p\sigma - 1} \quad (3)$$

$$p = \frac{\gamma(M_o)}{\mu_o} / \omega \quad (4)$$

$$\sigma = \gamma \left(H_o - \frac{N_z \cdot M_o}{\mu_o} \right) / \omega \quad (5)$$

$$\alpha = \frac{\gamma \Delta H}{2\omega} \quad (6)$$

$$\gamma = 2.21 \times 10^5 \text{ (rad/s)} / (A/m) \quad (7)$$

k_{eff} 는 전파상수이며, ϵ_e 는 페라이트의 유효 유전율이고, μ_{eff} 는 유효 투자율, M_o 는 페라이트 포화자화, H_o 는 내부 인가자계세기, α 는 페라이트 페리자성공명폭에 대한 손실계수, ΔH 는 페리자성공명폭 그리고 γ 는 자화율이며, 이때 공진기의 반지름은 11mm로 하였다.

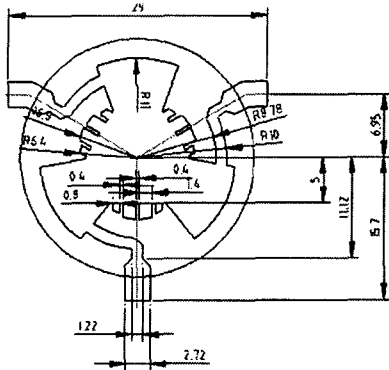


그림 1. 프로펠러형 공진기 도면

삽입손실은 loaded Q와 unloaded Q의 비에 관계된 값이다. loaded Q는 설계에서의 규격에 의해 결정되고, unloaded Q는 재료의 변수에 의해 결정된다. 아이솔레이터 설계는 주파수 2GHz, 대역폭($2\delta_o$) 0.25%, vswr 1.1로 하였고, 페라이트의 재료 변수는 포화자화 500~600G, 인가자계세기 16000e, 페리자성공명폭 $10\sim 20$, 유전율 14 그리고 유전손실($\tan \delta$) 0.0001~0.01로 하여 시뮬레이션 하였다.

$$L(dB) = 20 \log_{10} \left(1 + \frac{Q_L}{Q_U} \right) \quad (8)$$

$$Q_L = \frac{1}{\sqrt{3}} \frac{\mu}{K} = \frac{(r-1)}{2\delta_o \sqrt{r}} \quad (9)$$

$$\frac{K}{\mu} = \frac{p}{\sigma^2 + p\sigma + 1} \quad (10)$$

$$\frac{1}{Q_U} = \frac{1}{Q_m} + \frac{1}{Q_e} \quad (11)$$

$$Q_m = \frac{\mu'_e}{\mu_e} = \frac{1-p^2}{p \cdot (1+p^2) \cdot \alpha} \quad (12)$$

$$Q_e = \frac{\epsilon'}{\epsilon''} = \frac{1}{\tan(\delta)} \quad (13)$$

또한 아이솔레이터의 대역폭 확장은 체비서프 방식을 사용하였고[3], 전압정재파비(vswr) 1.1, 대역폭($2\delta_o$) 0.25일때, 전송선로 어드미턴스 2.161

(임피던스 23.1Ω)을 계산으로 얻을 수 있었다. 이때 사용되는 재료의 유전율은 14, 포화자화는 550G로 사용하였고, 단면구조는 스트립라인 형태이며, 접지와 접지사이거리(b)는 3.4mm, 도체 두께(ct) 0.2mm 페라이트 두께(ft) 각각 1.5mm를 사용하였다. 그 결과 전송선로의 길이는 $\lambda/4$ 의 전기적 길이를 갖고, 폭(w)은 1.22mm를 얻을 수 있었다.

3. 결과 및 고찰

프로펠러 공진기의 공진주파수는 그림 2에 나타내었다. 공진주파수는 1870MHz, 1880MHz, 2160 MHz를 얻을 수 있었다.

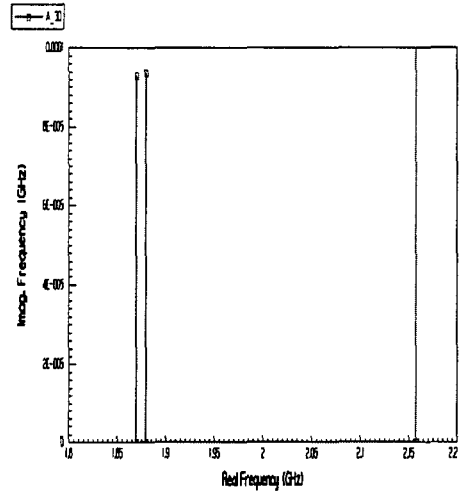


그림 2. 프로펠러형 공진기에 대한 공진주파수.

앞에서 설계된 아이솔레이터에서 페리자성공명폭(ΔH), 유전손실($\tan \delta$), 포화자화($4\pi Ms$) 그리고 인가 자계세기에 대한 삽입손실의 변화를 보기 위한 시뮬레이션을 하였다.

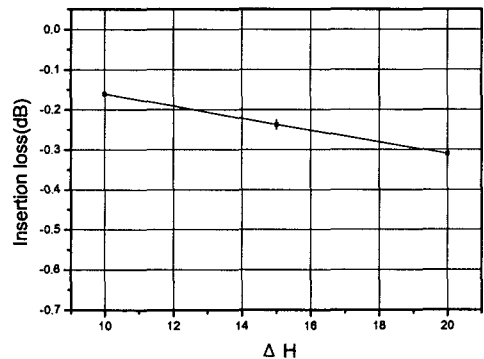


그림3. 페리자성공명반치폭(ΔH)에 대한 삽입손실.

그림 3 에서 나타나듯이 페리자성공명폭이 클수록 삽입손실이 커지게 되고, 현 대상의 아이슬레이터에서의 삽입손실이 페리자성공명폭이 10 변화할 때 삽입손실은 0.1dB 변화하는 것을 알 수 있었다.

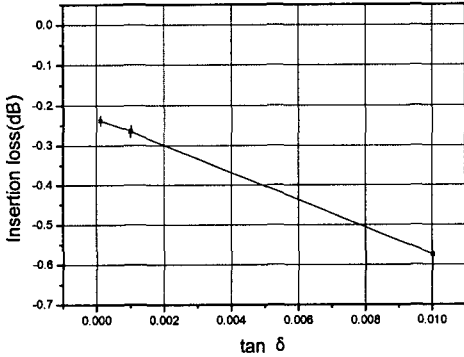


그림 4. 유전손실($\tan \delta$)에 대한 삽입손실.

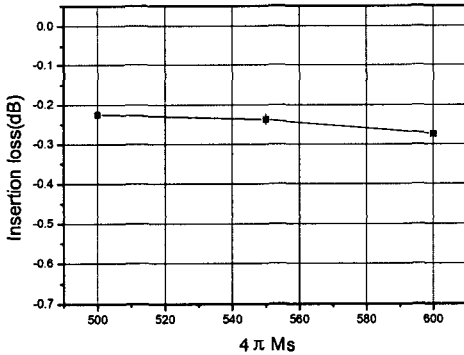


그림 5. 포화자화($4\pi Ms$)에 대한 삽입손실.

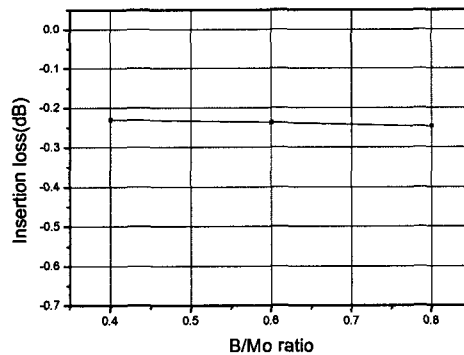


그림 6. 인가자계세기비(B/Mo)에 대한 삽입손실.

그림 4 에서 그림 6에 나타나듯이 유전손실이 클수록 삽입손실이 커지게 되고, 유전손실 0.0001 일 때 0.24dB, 0.001일 때 0.27dB 그리고 0.01일 때 0.57dB 변화하였고, 포화자화에 대한 삽입손실 변화는 포화자화 500~600G 변화에 0.015dB 변화하는 것을 알 수 있었고, 삽입손실에 대한 직접적인 영향이 거의 없다는 것을 알 수 있었다. 또한, 그림 6에서와 같이 인가되는 자계세기의 변화에 따라 삽입손실에는 직접적인 영향을 주지 않는 것을 알 수 있었고, 인가자계세기비 0.4~0.8의 변화에 0.015dB 변화하는 것을 알 수 있었다.

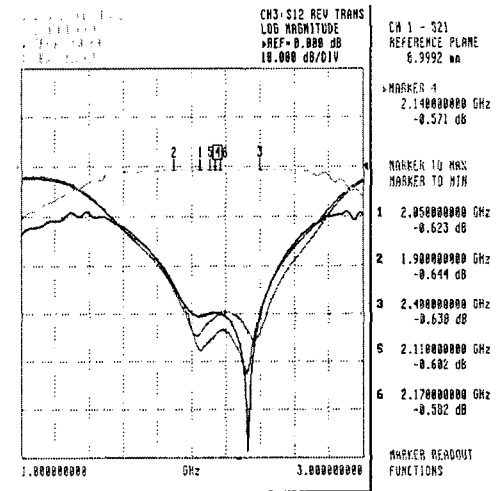


그림 7. 포화자화 550G, 유전손실($\tan \delta$)0.01를 사용한 아이슬레이터 삽입손실 측정결과.

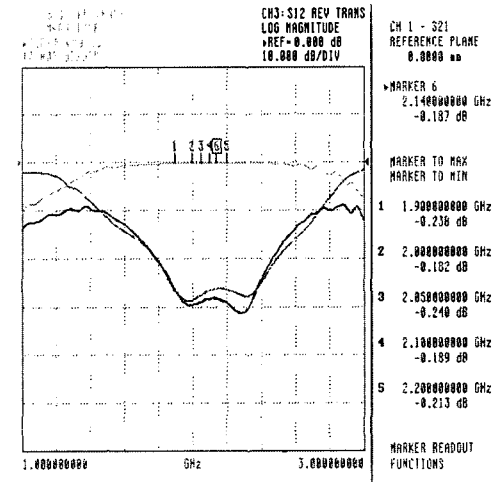


그림 8. 포화자화 550G, 유전손실($\tan \delta$) 0.0004를 사용한 아이슬레이터 삽입손실 측정결과.

앞에서 시뮬레이션 한 결과를 참고하여 제작 후 측정된 결과 그림 7과 그림8에 나타내었다. 그림 7과 그림 8은 동일한 포화자화 550G를 적용하고 유전손실이 다른 페라이트를 사용하여 측정한 결과이다. 그림 4에서 시뮬레이션으로 예측했듯이 유전손실이 0.01일 때, 시뮬레이션에서 0.58dB정도를 얻을 수 있었고, 측정 결과도 0.57 ~ 0.64dB를 얻어 거의 유사한 특성을 얻을 수 있었다. 또 다른 실험인 유전손실 0.0004를 적용하여 시뮬레이션 한 결과 0.23dB정도이며 측정 결과 0.18 ~ 0.24dB를 얻을 수 있었다.

4. 결 론

페라이트 소재변수에 따른 아이솔레이터 특성 연구에 있어서, 본 논문에서는 아이솔레이터 공진기, 페라이트의 유전손실($\tan \delta$), 페리자성공명폭(ΔH)포화자화 그리고 인가자계세기에 의해 삽입손실을 시뮬레이션하여 실험 제작하였다. 그 결과 시뮬레이션과 측정결과가 일치하였다. 특히 페라이트 제작 시 페리자성공명폭(ΔH)와 유전손실($\tan \delta$)은 삽입손실에 직접적인 영향을 주는 것을 알 수 있었다.

포화자화 550G, 유전손실 0.01를 사용한 아이솔레이터 응답특성 측정결과는 삽입손실 0.57 ~ 0.64dB, 반사손실 27dB, 아이솔레이션 27dB, 대역폭 1900MHz ~ 2400MHz이고, 포화자화 550G, 유전손실 0.0004를 사용한 아이솔레이터 응답특성 측정결과는 삽입손실 0.18 ~ 0.24dB, 반사손실 27dB, 아이솔레이션 27dB 그리고 대역폭 1900MHz ~ 2400MHz을 얻을 수 있었다.

또한, 본 연구에서 얻은 연구결과는 소형화 연구 및 소재의 측정연구에 많은 응용이 될 것이라고 기대된다.

감사의 글

본 연구는 (주)EG의 출연금으로 한국전자통신연구원에서 개발된 결과입니다. (주)EG 사장님과 본 과제 담당자께 진심으로 감사 드립니다.

참고 문헌

[1] J.Helszajn, C.S.Cheng and W.DOrazio, "UHF irregular hexagonal gyromagnetic resonators symmetrically loaded with magnetic walls", *IEE Proc. Microwave Antenna propag.*,

vol. 146. No. 6. pp. 427-433, 1999.

- [2] J.Helszajn, M.Mckay and D.J.Lynch, "Complex gyrator circuit of a junction circulator using weakly magnetized planar irregular hexagonal resonator", *IEE Proc. Microwave Antenna propag.*, vol. 143. No. 6. pp. 532-538, 1996.
- [3] J.Helszajn, "Synthesis of quarter wave coupled junction circulators using moderately magnetic disc resonators with commensurate eigennetworks", *IEE Proc. Microwave Antenna propag.*, vol. 143. No. 3. pp. 238-243, 1996.
- [4] 전동석, 이홍열, 김동영, 한진우, 이상석, "YIG 페라이트를 이용한 아이솔레이터의 온도안정화 연구", 한국전기전자재료학회 논문지, Vol. 15, No. 12, p1-75, December 2002.
- [5] 김동영, 한진우, 전동석, 이상석, "YIG 소결시 나타나는 비정상삽입성장 현상과 그의 억제", 한국전기전자재료학회 논문지, 3권, 2호, p466, 2002.