

다수의 자계벽을 갖는 프로펠러 공진기형 서큘레이터 설계

전동석^o, 이홍열, 김동영, 이상석

한국전자통신연구원 유전체RF소자팀

A Design for Propeller Resonators loaded Circulator with a plurality of symmetric magnetic walls

Dong-suk jun^o, Hong-yeol Lee, Dong-young Kim, Sang-seak Lee

Electronics Telecommunications Research Institute

Dielectric Radio Frequency Device Team

Email : dsjun@etri.re.kr

ABSTRACT

This paper describes the design of planar circulators with propellers resonator including a plurality of symmetric magnetic walls. 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. The paper includes the description of one commercial circulator that is compatible with the data obtained

Key words: circulator, magnetic wall, magnetization

I. 서 론

마이크로파 대역에서 페라이트 자성체의 Gyrotropic 성질을 이용한 서큘레이터(circulator)와 같은 비가역 소자는 통신기기들의 상호 간섭을 줄여 줄 뿐 아니라 핵심 부품의 보호, 임피던스 정합용으로 수GHz에서 수백GHz까지 광범위하게 사용되는 마이크로파 통신, 이동통신, 위성통신 등에 부품으로 사용되고 있다.

자이로마그네틱 재료에 대한 서큘레이터, 페라이트 위상변위기의 설계는 공진 아래 모드(below 모드), 혹은 공진 위 모드(above 모드)를 기본으로 하고 있다. 또한 설계는 설계규격 뿐만 아니라 소재의 변수에 영향을 많이 받는다. 특히 자성체는 유전체와 달리 소재 변수에 민감하게 변화되는 현상이 있다. 최근에 서큘레이터의 삽입손실이 문제시 되는데 이는 재료의 변수에 의해 문제가 될 수 있다.

따라서 본 논문에서는 below모드 서큘레이터 설계에 대하여 연구하였다. 설계는 공진기 구조, 페라이트의 포화자화도, 페리자성공명 반치폭(ΔH), 유전손실($\tan \delta$)과 외부인가 자계의 세기의 재료적 특성에 대한 삽입손실 및 응답특성을 시뮬레이션하여 제조된 아이솔레이터의 응답특성을 분석 하였다.

II. 본 론

1. 프로펠러형 공진기 설계

프로펠러형 공진기 아이솔레이터의 구조는 Fig.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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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, a 는 페라이트 페리자성공명폭에 대한 손실계수, ΔH 는 페리자성공명폭 그리고 γ 는 자화율 이며, 이때 공진기의 반지름은 11mm이다.

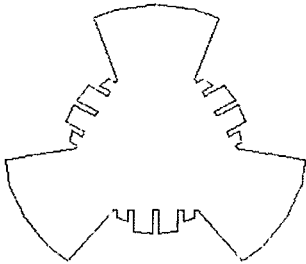


Fig. 1 프로펠러형 공진기 도면

삽입손실은 loaded Q와 unloaded Q의 비에 관계된 값이다. loaded Q는 설계에서의 규격에 의해 결정되고, unloaded Q는 재료의 변수에 의해 결정된다. 여기에서는 주파수 2GHz, 대역폭(BW) 0.25%, vswr 1.1로 하였다. 페라이트의 재료 변수는 포화자화 500~600G, 인가자계세기 16000e, 페리자성공명폭 10~20, 유전율 14 그리고 유전손실(tan δ) 0.0001~0.01로 하였다.

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

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

2. 대역폭 확장 설계

아이솔레이터의 대역폭 확장은 체비셔프 방식을 사용하였고[3], 전압정재파비(vswr) 1.1, 대역폭(BW) 0.25일때, 전송선로 어드미턴스 2.161 (임피던스 23.Ω)을 계산으로 얻을 수 있었다. 이때 사용되는 재료의 유전율은 14, 포화자화는 550G로 사용하였고, 단면구조는 스트립라인 형태이며, 접지와 접지 사이거리(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. 시뮬레이션 결과 및 고찰

프로펠러 공진기의 공진주파수는 Fig.2에 나타내었다. 공진주파수는 1870MHz, 1880MHz, 2160MHz를 얻을 수 있었다. Fig.3에서는 Isolator의 전계 분포를 나타낸 것으로, 입력포트에서 출력포트로 전계가 전달되고 있음을 알 수 있었다. 이는 입력포트에서 신호가 출력포트로 잘 전달되고, 출력포트에서 반사 혹은 입사 되는 신호는 아이솔레이션 포트 로 전달되어 소멸되며, 결국은 입력포트로 신호가 전달되지 않고 아이솔레이션 되는 것을 알 수 있다.

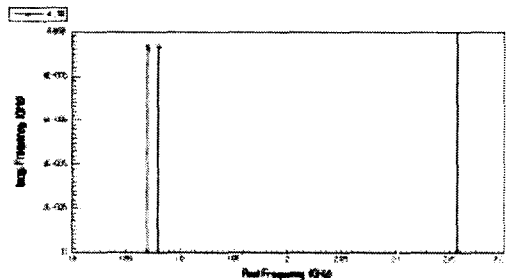


Fig. 2 프로펠러형 공진기에 대한 공진주파수

앞에서 설계된 서클레이터에서 페리자성공명폭 (ΔH), 유전손실($\tan \delta$), 포화자화($4\pi M_s$) 그리고 인가 자계세기에 대한 삽입손실을 알아보았다.

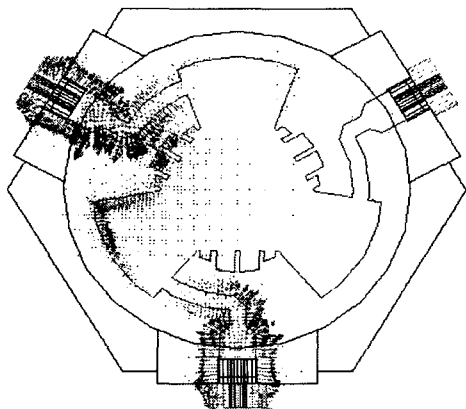


Fig. 3 Isolator 전개 분포

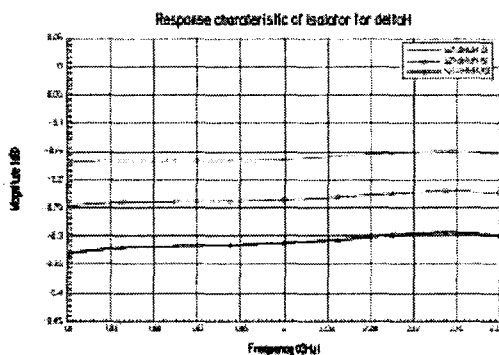


Fig. 4 페리자성공명 반치폭(ΔH)에 대한 삽입손실

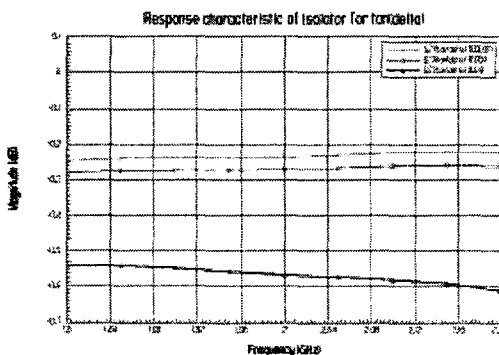


Fig. 5 유전손실($\tan \delta$)에 대한 삽입손실

Fig.4에서 나타나듯이 페리자성공명폭이 클수록 삽입손실이 커지게 되고, 현 대상의 서클레이터에서의 삽입손실이 페리자성공명폭이 10 변화할 때 삽입손실은 0.1dB 변화하는 것을 알 수 있었다. Fig.5에서 나타나듯이 유전손실이 클수록 삽입손실이 커

지게 되고, 유전손실 0.0001일 때 0.24dB, 0.001일 때 0.27dB 그리고 0.01일 때 0.57dB 변화하였다. Fig.6에서 나타나듯이 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. Fig.7에서 나타나듯이 인가되는 자계세기에 Fig. 6와 마찬가지로 삽입손실에 직접적인 영향을 주지않는 것을 알 수 있었고, 인가자계세기비 0.4~0.8의 변화에 0.015dB 변화하는 것을 알 수 있었다.

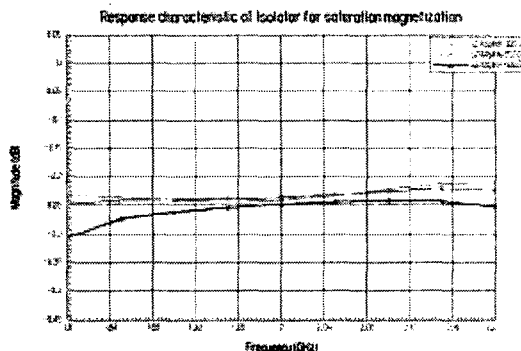


Fig. 6 포화자화($4\pi M_s$)에 대한 삽입손실

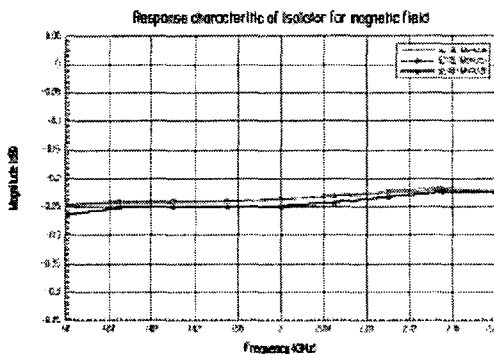


Fig. 7 인가 자계세기비(B/Mo)에 대한 삽입손실

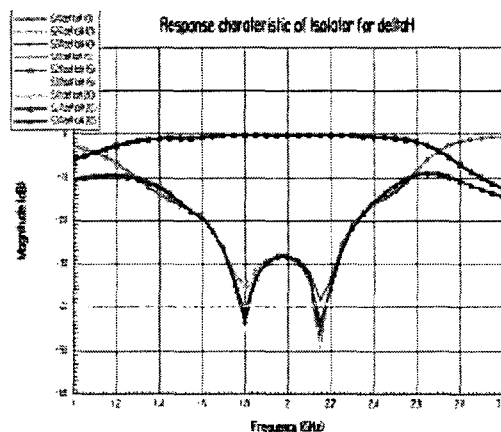


Fig. 8 페리자성공명폭(ΔH)에 대한 응답특성

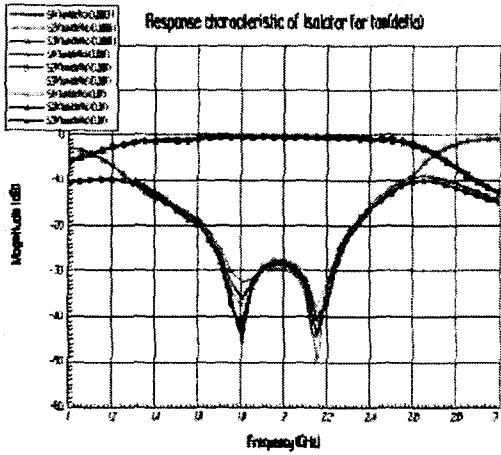


Fig. 9 유전손실($\tan \delta$)에 대한 응답특성

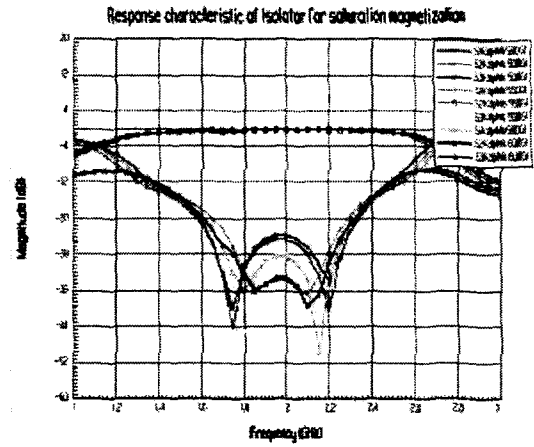


Fig. 10 포화자화($4\pi M_s$)에 대한 응답특성

Fig.8부터 Fig.11까지는 서클레이터에 사용되는 페라이트의 페리자성공명폭(ΔH), 유전손실($\tan \delta$), 포화자화($4\pi M_s$) 그리고 인가 자계세기에 대한 응답 특성을 알아보았다. Fig.8에서는 페리자성공명폭의 크기에 대한 응답특성인데, Fig.4에서의 삽입손실의 변화에 비해 반사손실과 아이솔레이션이 거의 변화가 없는 것을 알 수 있었다. Fig.9에서는 유전손실에 대한 응답특성을 나타내었고, 페리자성공명폭의 변화에 대한 응답특성처럼 거의 변화가 없는 것을 알 수 있었다. Fig.10에서는 포화자화에 대한 Isolator 응답 특성을 나타낸 것으로, 응답특성은 페리자성공명폭(ΔH) 15Oe, 유전손실($\tan \delta$) 0.0001, 포화자화 500G일 경우 반사손실 및 아이솔레이션이 23dB 대역폭은 650MHz 이며, 550G일 경우 반사손실 및 아이솔레이션이 27dB, 대역폭은 500MHz 그리고 580G일 경우 반사손실 및 아이솔레이션이 36dB, 대역폭은 300MHz를 얻을 수 있었고, 포화자화가 클수록 반사손실 및 아이솔레이션 응답특성이 좋아지고, 대역폭은 줄어드는 것을 알 수 있다. Fig.11에서는 인가자계세기에 대한 응답특성을 나타내었다. 응답특성은 페리자성공명폭(ΔH) 15Oe, 유전손실($\tan \delta$) 0.0001, 포화자화 550G 그리고 인가 자계세기비 0.4에서 0.8로 변화하였고, 인가 자계세기비의 변화에 따라 주파수 편이가 발생하는 것을 알 수 있었고, 하측주파수에서는 40MHz, 상측주파수에서는 30MHz의 주파수 편이가 발생하는 것을 알 수 있었다.

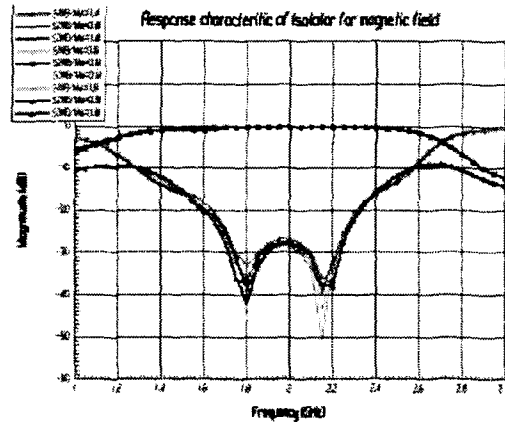


Fig. 11 자계세기비(B/Mo)에 대한 응답특성

Fig.12에서는 포화자화 500G를 사용한 Isolator 응답특성 측정 결과를 나타낸 것으로, 대역폭 1.9GHz~2.5GHz에서 삽입손실 0.73dB, 아이솔레이션 22dB 그리고 반사손실 22dB를 얻을 수 있었다. 또한 시뮬레이션과 유사한 특성을 얻을 수 있었지만, 주파수 편이가 200MHz정도 발생하였다.

Fig.13에서는 포화자화 550G를 사용한 Isolator 응답특성 측정 결과를 나타낸 것으로, 대역폭 2.0GHz~2.4GHz에서 삽입손실 0.6dB, 아이솔레이션 30dB 그리고 반사손실 30dB를 얻을 수 있었다. 포화자화 500G를 사용한 아이솔레이터 응답특성과 마찬가지로 200MHz 주파수 편이가 발생하였다. 주파수 편이는 인가자계세기에서 발생하는 원인도 있는 것 같지만, 정확한 원인은 더 많은 분석이 필요할 것 같다. 삽입손실이 큰 것은 실험 페라이트 기판의 페리자성공명폭(ΔH)의 측정치는 15이지만,

측정하지 못한 페라이트의 유전손실이 큰 원인도 있지만, 이 역시 정확한 원인은 분석이 필요한 것으로 판단된다.

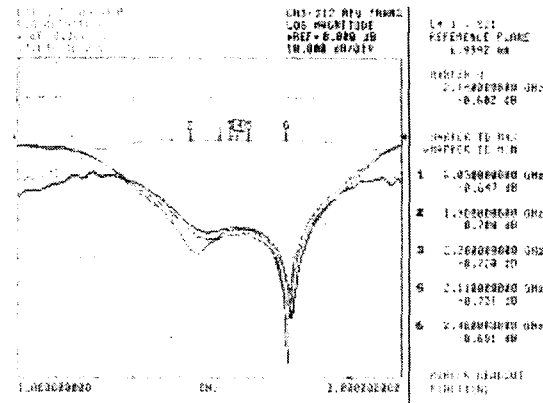


Fig.12. 포화자화 500G를 사용한 Isolator 삽입손실 응답특성 측정결과

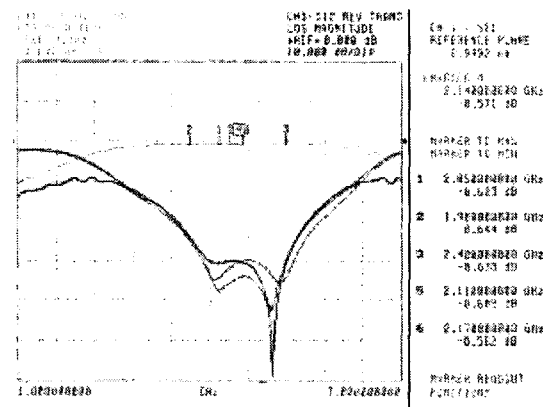


Fig.13. 포화자화 550G를 사용한 Isolator 삽입손실 응답특성 측정결과

III. 결 론

다수의 자계벽을 갖는 프로펠러형 아이솔레이터 설계연구에 있어서, 본 논문에서는 페라이트의 유전손실($\tan \delta$) 및 페리자성공명폭(ΔH)에 대한 전계 분포 및 응답특성을 시뮬레이션 하였다. 그 결과 유전손실 및 페리자성공명폭(ΔH)이 클수록 삽입손실이 크게 나타나는 것을 알 수 있었고, 반사손실 및 아이솔레이션에 대하여 변화가 없었다. 또한 포화자화와 인가자계세기에 대하여 삽입손실은 별로 변화가 없었지만, 반사손실 및 아이솔레이션 응답 특성에 대하여 포화자화는 아이솔레이터 응답 특성이 클수록 대역은 좁아지고, 반사손실 및 아이솔레이션이 좋아지는 것을 알 수 있었고, 인가자계세기는 증가

할수록 주파수편이가 상측으로 변화한 것을 알 수 있었다. YIG에 대한 시뮬레이션과 측정 결과를 분석한 결과 반사손실, 아이솔레이션 그리고 대역폭은 유사한 특성을 얻을 수 있었지만, 측정치는 시뮬레이션 결과 보다 200MHz 정도 상측 주파수 편이가 발생하는 것을 알 수 있었다. 상측 주파수 편이는 인가자계세기에 영향을 받는 것은 사실이지만 더 정확한 분석이 필요하고, 측정치의 삽입손실이 더 큰 것은 정확하게 알 수는 없지만 시뮬레이션에서 언급하였듯이 유전손실 영향이 큰 것으로 나타나지만, 이 역시 정확한 분석이 필요하다.

포화자화 500G를 사용한 Isolator 아이솔레이션 응답특성 측정결과는 삽입손실 0.73dB, 반사손실 22dB, 아이솔레이션 22dB 그리고 대역폭 1900MHz ~ 2500MHz이고, 포화자화 550G를 사용한 Isolator 아이솔레이션 응답특성 측정결과는 삽입손실 0.6dB, 반사손실 30dB, 아이솔레이션 30dB 그리고 대역폭 2000 ~ 2400MHz를 얻을 수 있었다. 본 연구에서는 기지국 혹은 증계기용으로 연구 하였지만, 연구 결과는 소형화 연구, 신뢰성 연구 및 소재의 측정연구에 많은 응용이 될 것이라고 기대된다.

참고문헌

[1] J.Helszajn, C.S.Cheng and W.D Orazio, "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 magnetised disc resonators with commensurate eigennetworks", *IEE Proc. Microwave Antenna propag.*, vol. 143, No. 3, pp. 238-243, 1996..