

Ni-Zn Ferrite/Rubber복합형 흡수체의 정합조건 설계

신 광호, 김 한근, 사공 권
(동아대학교 전기공학과)

Design of Matching Condition for Ni-Zn Ferrite/Rubber composite Absorber

k. H. Shin, H. G. Kim, G Sa-Gong
(Dept. of Electrical Engr., Dong-A Univ.)

Abstract

In recently, there is growing demand for microwave absorbing material, and for the design method of microwave absorber. We developed a new method to design the matching frequency and material thick for ferrite/rubber composite absorber. Ni-Zn ferrite prepared with coprecipitation was compounded with silicon rubber, and, subsequently, pressed to ring specimen. The material constant of the ferrite/rubber composite absorber was used to design the matching frequency and material thick with matching map. In this study, we could predict matching condition from the design method. Foremore, using matching boundary map, we could also predict the condition of over 20[dB] attenuation.

2-2. 전파흡수조건(무반사조건)

전파흡수체는 후면에 금속판을 부착하고 그것에서의 반사 영향과 전파흡수체 전면의 반사를 잘 제어하여 전면에서 반사가 생기지 않도록 하여야 한다.

자유공간의 임피던스를 고려한 규격화 입력임피던스 Z는 식 (1)로 나타낼 수 있다.

$$Z = \sqrt{\mu_r^* / \epsilon_r^*} \tanh(j2\pi d / \lambda_0 \sqrt{\mu_r^* \epsilon_r^*}) \text{ ----- (1)}$$

여기에서 μ_r^* 은 복소투자율, ϵ_r^* 은 복소유전율, d는 흡수체의 두께이다.

식(1)에서 Z = 1 일 경우가 정합이 일어나는 조건이며, 이 조건을 만족시키기 위해서는 $\mu_r, \mu_r', \epsilon_r, \epsilon_r', d, \lambda_0$ 등 6가지의 변수를 고려하여야 한다. 전자파에 대한 재료의 반사감쇠량은 위의 식(1)의 Z의 함수를 다음 식(2)에 대입하여 계산한다.

$$\text{REFLECTION LOSS [dB]} = 20 \log \left| \frac{Z - 1}{Z + 1} \right| \text{ ----- (2)}$$

1. 서론

전자통신 기술의 발달과 전자기기의 다양화로 전자파 환경이 날로 악화되고 있는 추세에 있다. 건물벽면으로부터의 반사전파에 의한 T.V.ghost장해, 각종 전자기기 등에서 발생하는 유해한 전자파 기기 상호간의 동작을 방해하거나 인체에 해를 미치는 등, 이들 전자파 환경에 대한 대책이 시급히 요구되고 있다. 또 교량 및 철교 등에 의한 선락용 레이다의 허상, 각종 산업현장에서의 생산 설비나 은행의 컴퓨터 단말기의 오동작, 교통 수단 및 핵발전소의 제어 장치의 오동작 등 일반 가정의 소비용품으로부터 산업, 군사, 우주, 항공분야 등과 같은 여러가지 전자파 장애(EMI: Electromagnetic Interference)에 대한 대책이 사회적 관심을 끌고 있다. 이에 따른 대책으로는 송신 및 수신 방법의 개선 등이 검토되고 있지만 근본적 대책으로는 전파흡수 특성을 갖고 있는 재료로서 불필요한 외부 전파를 흡수하여 열에너지로 변환시켜 반사파가 생성되지 않도록 하는 것이다.

본 연구에서는 Ni-Zn Ferrite/rubber복합형 전파흡수체를 제작하여 이에 대한 재료정수를 구하여 재료의 정합두께와 주파수의 설계방안에 대하여 연구하였다.

2. 이론

2-1. 전파흡수체 재료

재료에 전파가 입사되었을 때 전파가 흡수되기 위해서는 손실이 있어야 한다. 이러한 손실은 재료 내의 자유전하가 전계와 동상으로 이동할 때에 생기는 도전손실과 유전체에 전계를 가하였을 때 쌍극자의 재배향이 인가 전계에 대한 위상차로 생기는 유전손실, 그리고 가해진 자계의 시간적인 변화에 의해 생기는 와전류손실(eddy current loss), 자기역손실(hysteresis loss), 잔류손실(residual loss) 등을 포함하는 자성손실이 있다. 이들 중 자성재료에 의한 손실이 가장 큰 것으로 알려져 있다. 자성손실을 가지는 전파흡수재료로는 Ferrite가 널리 사용되고 있다. Ferrite 전파흡수체는 소결형과 복합형으로 나눌 수 있으며, 소결형은 MHz영역에서, 복합형은 GHz영역에서 사용되고 있다.

3. 시편제작 및 측정

본 연구에서는 Ni_{0.5}Zn_{0.5}Fe₂O₄의 조성을 갖도록 하기 위하여 FeCl₃·6H₂O와 NiCl₂·6H₂O 및 ZnCl₂를 칭량하여 물에 녹인 후, 침전제로 NaOH를 사용하여 공침법으로 침전 분말을 합성하였다. 합성한 분말을 건조한 후 900(°C)에서 하소하여, 페라이트 분말을 제조하였다. 복합형 전파흡수체를 제작하기 위하여 페라이트 분말을 실리콘고무(Silicone Rubber)와 혼합비(F:R = Ferrite:Rubber)를 4:1로 혼합하여 외경 7(mm), 내경 3(mm)의 Ring형 복합형 시편을 성형하였다.

위의 방법으로 제작된 전파흡수체의 특성을 평가하기 위한 재료정수는 Network Analyzer(HP8510B)와 co-axial type의 7(mm) air line을 사용하여 1~12(GHz)범위에서 시편의 반사계수(S₁₁, S₂₁)를 측정하여 계산하였다.

4. 실험결과 및 고찰

그림 1은 본 실험에서 제작된 복합형 전파흡수체에 있어서 주파수(1~12[GHz])에 따른 재료정수(복소유전율 및 투자율)를 나타낸 것이다. 그림에서 처음 유전율의 실수부(가는 실선)는 약 4.85정도, 허수부(가는 점선)는 약 0.135정도로 거의 일정한 값을 보여주고 있다. 유전율의 허수부가 매우 작아 전파흡수능에는 거의 기여하지 못하는 반면, 복소투자율의 허수부(굵은 점선)는 비교적 큰 값을 나타내고 있어서 자성손실을 이용한 전파흡수체의 응용이 가능함을 알 수 있다.

그림 2는 복합형흡수체 시편의 복소투자율을 실수축과 허수축 평면상에 주파수 (1~12[GHz])에 따른 곡선을 보여주고 있다.

그림 3은 정합주파수와 두께의 곡을 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40[GHz mm]로 하였을 때의 정합지도(Matching map)를 나타낸 것으로 본 연구에서 제작한 복합형 흡수체의 유전율인 4.85-j0.135로 고정하였을 때 정합점들을 함께 나타낸 것이다.

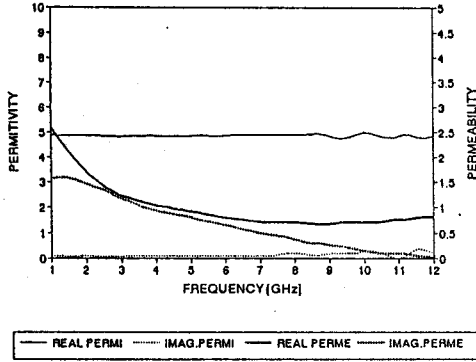


그림 1. Ni-Zn Ferrite/rubber 복합체의 재료정수 (주파수 1[GHz]-12[GHz]대역에서 측정)

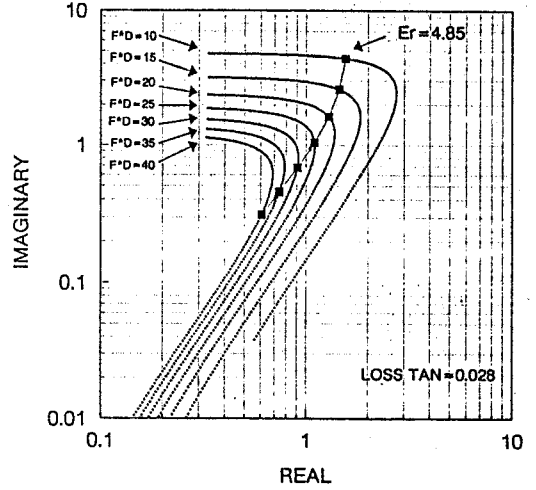


그림 3. 정합지도 ($Er = 4.86 - j0.135$)

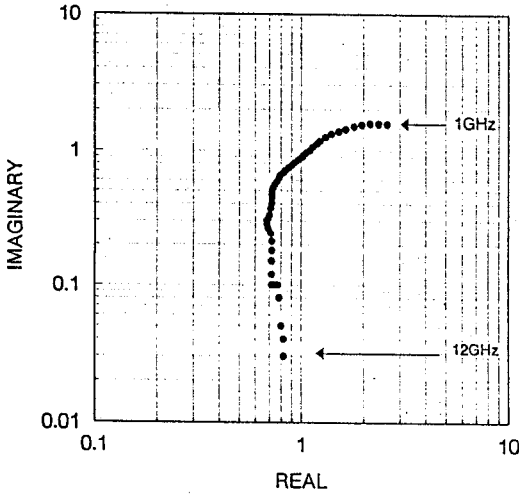


그림 2. Ni-Zn Ferrite/rubber 복합체의 복소투자율 궤적 ($Er = 4.86 - j0.135$)

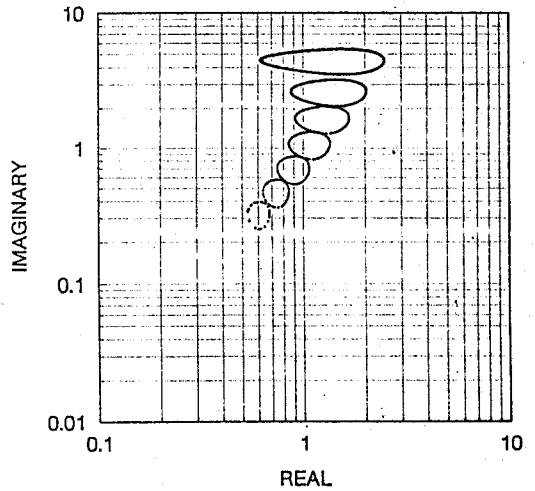


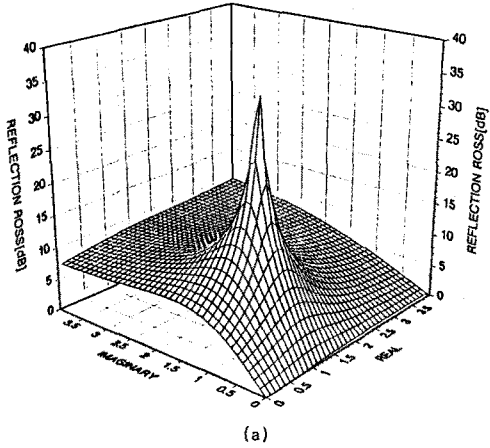
그림 4. 정합경계도 ($Er = 4.86 - j0.135$)

복합형흡수체 시편의 재료정수 중 복소유전율이 주파수변화에 따라 거의 변화하지 않으므로 그림 3의 정합점들과 그림 2의 복소투자율 궤적을 비교하여 정합점을 찾아낼 수가 있는데 복소투자율의 궤적과 정합지도상의 복소유전율이 $4.85 - j0.135$ 인 궤적이 만나는 점에서 정합이 일어나게 된다. 이러한 방법에 의하여 본 연구에서 사용한 흡수체의 경우에는 주파수와 두께의 곱이 약 26일 때와 약 36일 때 정합이 일어날 것으로 예측할 수 있다. 그림 2의 재료정수에서 이 점들을 찾으면 복소투자율은 $1.06 - j0.96$ 과 $0.72 - j0.4$ 인 것을 알 수 있고, 이 정합점들을 그림 2에서 찾으면 주파수가 각각 7.6[GHz]와 3.86[GHz]에서의 재료정수임을 알 수 있다. 따라서 주파수가 7.82[GHz]일 때 두께가 4.6[mm], 3.86[GHz]일 경우에 두께가 6.7[mm]에서 정합이 일어남을 예측할 수 있다.

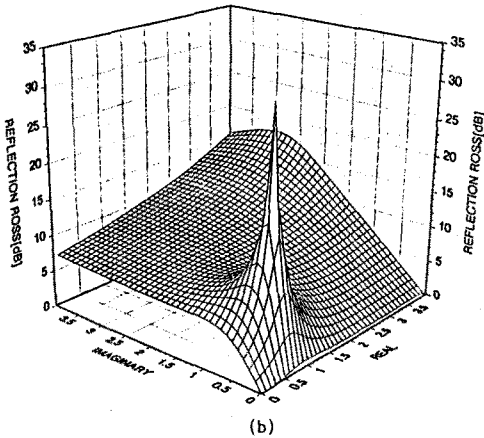
그림 4는 복소유전율이 $4.85 - j0.135$ 일 경우 주파수와 두께의 곱을 변화시키면서 구한 반사감쇠량 20[dB]의 경계를 나타낸 것이다. 본 연구에서 20[dB]이상인 대역을 예측하기 위하여 그림 4의 정합경계도와 그림 2(b)의 복소투자율을 합

계 고려해 보면 두께를 4.6[mm]로 하였을 때 약 6.5-8.5[GHz]의 대역에서, 6.7[mm]로 하였을 때 약 3.4-5.5[GHz] 20[dB]이상의 반사손실을 나타낼 것으로 기대할 수 있다.

그림 5의 (a)와 (b)는 복소유전율을 $4.85 - j0.135$ 로 했을 경우 복소투자율의 변화에 따른 반사감쇠량을 3차원 공간에 나타낸 것이다. 그림 5(a)는 주파수와 두께의 곱을 26으로 하였을 때의 반사감쇠량을 나타낸 것으로 복소투자율이 약 $1.1 - j1$ 에서 30[dB]이상의 반사감쇠량을 나타내면서 정합됨을 볼 수 있다. 또 그림 5(b)는 주파수와 두께의 곱을 36으로 하였을 때의 반사감쇠량을 나타낸 것으로 복소투자율이 약 $0.7 - j0.4$ 에서 30[dB]이상의 반사감쇠량을 나타내면서 정합이 이루어짐을 볼 수 있다.



(a)



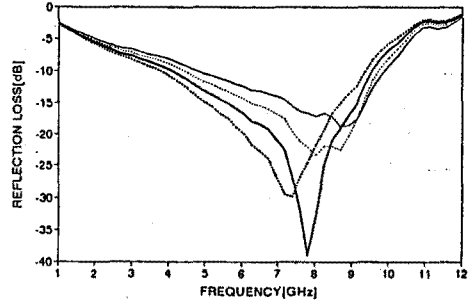
(b)

그림 5. 복소투사율의 변화에 따른 반사손실값을 나타낸 3차원 곡면
(a) 주파수와 두께의 곱 26[GHz·mm]
(b) 주파수와 두께의 곱 36[GHz·mm]

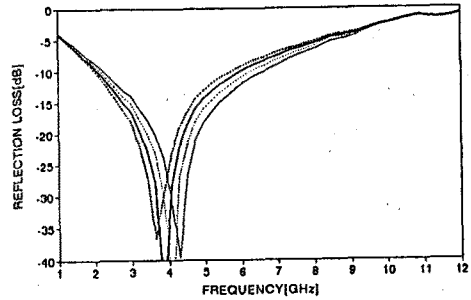
그림 6의 (a), (b)는 측정된 재료정수를 식(1)과 (2)에 의해 계산한 반사손실값으로서 각 두께 4~5[mm] 및 6~7[mm]를 0.3[mm]간격으로 변화시키면서 계산한 값들을 나타낸 것이다.

그림 6(a)는 4[mm]에서 5[mm]의 두께를 0.2[mm]단위로 나누어 계산한 반사손실값을 나타낸 것으로 위에서 예측한 4.6[mm]의 두께인 경우 7.6[GHz]의 주파수에서 약 38[dB]의 반사감쇠량을 나타내면서 정합되고, 20[dB]이상인 대역은 6.8~8.5[GHz]인 것을 알 수 있다.

그림 6(b)는 6[mm]에서 7[mm]의 두께를 2[mm]단위로 나누어 계산한 반사손실값을 나타낸 것으로 위에서 예측한 6.7[mm]의 두께의 경우 3.8[GHz]의 주파수에서 약 48[dB]의 반사감쇠량을 나타내면서 정합되고, 20[dB]이상인 대역은 3.4~3.3[GHz]인 것을 알 수 있다.



(a)



(b)

그림 6. 흡수체 두께의 변화에 따른 반사손실값
(a) 두께 4.2-4.8[mm], (b) 두께 6.3-6.9[mm]

5. 결론

공침법으로 합성한 Ni-Zn페라이트($\text{Ni}_{0.5}\text{Zn}_{0.5}\text{Fe}_2\text{O}_4$)분말과 실리콘 고무를 혼합하여 제작한 복합형 전파흡수체의 재료정수로부터 정합조건(주파수 및 두께)을 얻을 수 있었으며, 요약하면 다음과 같다.

- 1) Ni-Zn페라이트의 정합주파수와 두께는 3.8[GHz]일 때 6.7[mm], 7.6[GHz]에서 4.6[mm]로 나타났으며, 이때의 반사감쇠량은 각각 38과 45[dB]이었다.
- 2) 정합지도와 복소투사율 제적을 이용하여 정합주파수와 정합두께를 예측할 수 있었다.
- 3) 정합 경계도를 이용하여 20[dB]이상을 나타내는 주파수대역을 간단히 구할 수 있으므로 응용 가능한 주파수대역을 예측할 수 있었다.

< 참고문헌 >

1. 乾哲司, "電波吸收體", エレクトロニクセラミクス, pp. 18-24(1985)
2. 清水康敬, "電波吸收體", 電子通信學會誌, 技術展望(A), No. 5, pp. 546-548(1985)
3. 官崎保光, "EMI 對應材料の特性と效果の Mechanism", 工業材料, Vol. 36, No. 4, pp. 36(1988)
4. 사공건, 김한근, 박상하, "Ferrite/Rubber Composite의 혼합비에 따른 전파흡수특성, 동아는총, 제29집, 동아대학교, pp. 259-269(1992)
5. 石野建, 度邊降志, 橋本康雄, "電磁波吸收體とその應用", 應用物理, Vol. 43, No. 11(1974)