

FDTD법을 이용한 누설 NRD 가이드 내 주기구조 해석

이정엽, 이정해¹, 김형석², 정현교
서울대학교 전기공학부, ¹홍익대학교 전자전기공학부, ²중앙대학교 전자전기공학부

Analysis of Periodic Structures in Leaky NRD Guide Using FDTD Method

Jung-Yub Lee, ¹Jeong-Hae Lee, ²Hyeong-Seok Kim and Hyun-Kyo Jung
Seoul National Univ., ¹Hongik Univ., ²Chungang Univ.

Abstract - NRD(Nonradiative Dielectric) 가이드 내 누설파(leaky wave)를 줄이기 위해 최근 주기 구조를 도입한 모델이 제안되었다. 그러나 NRD 가이드 내의 주기구조에 대한 상세한 특성 해석은 아직 이루어지지 않았다. 따라서 본 논문에서는 FDTD(Finite Difference Time Domain) 기법을 이용하여 주기 구조를 삽입한 NRD 가이드의 전파 특성을 해석하고자 한다. 해석 결과는 주기 구조의 모델 변화, 즉 공기층의 크기, 간격 개수 등에 따라서 누설이 어떻게 변화하는지를 보여준다.

은 PEC(Perfect Electric Condition)으로 표현되었으며 NRD 가이드 양쪽의 해석 영역을 한정하기 위해 흡수 경계 조건(absorbing boundary condition)이 도입되었다. 일반적인 NRD 가이드의 경우 누설이 생기지 않으므로 주기 구조가 누설에 주는 영향을 알아보기 위해서는 누설파를 발생하는 구조가 필요하다. 따라서 중앙의 유전체와 도체 판 사이에는 누설을 만들기 위해 공기 영역을 두었다. 공기 영역에 의해 누설파가 발생하며 주기 구조에 의해 누설파의 진행이 제한될 것이다. 주기 구조는 공기의 유전률을 가지는 사각형 막대의 형태이며 $d \times d \times a$ 의 크기로 이루어져 있다. 이 모델에서 두께(d), 간격(s), 사각형 막대의 개수(n)의 세 파라미터가 도입된다. 이 파라미터의 변화에 따른 감쇄 상수의 변화가 해석될 것이다.

1. 서론

그림 1의 NRD 가이드는 밀리미터파 영역에서 저손실 특성을 가지며 필터, 커플러, 믹서 등으로 널리 사용되고 있다. 이러한 소자들은 대부분 손실이 작은 특성을 가지는 LSM₀₁ 모드를 이용하여 동작하며 이 모드는 사각형 웨이브 가이드를 통해 생성될 수 있다. 그러나 가이드 구조 내에 비대칭성이나 불연속 부분이 있을 경우, 전파 도중 모드 변환(mode conversion)에 의해 원치 않는 모드가 발생할 수 있다. 생성된 모드를 통해 누설파가 진행하게 되며 이는 손실로 나타나서 가이드의 전파 특성을 나쁘게 한다.

누설에 의해 발생하는 전파 손실을 줄이기 위한 방법으로 여러 구조들이 제안되었다.[1, 3]. 그 중 channelized NRD 가이드는 누설을 줄이면서 쉽게 만들 수 있다는 점에서 최근 많은 주목을 받고 있다. 이 가이드는 NRD 가이드의 유전체 판(slab)에서 전파 통로가 되는 유전체판의 양쪽 바깥에 낮은 유전률 값을 가지는 물질을 주기적으로 도핑하는 방법을 통해 만들어진다. 따라서 주기 구조가 존재하는 영역에서는 두 가지 유전체가 서로 반복되어 나타남으로써 전체적으로 유효 유전률을 떨어지게 된다. 그리고 도핑되지 않은 가운데 부분은 높은 유전률 값을 계속 유지함으로써 NRD 가이드의 특성을 가질 수 있다. 이러한 가이드 구조의 특성은 참고 문헌에 나타나 있다[1]. 그러나, 참고 문헌에서는 모드 매칭법의 한계로 인해 주기 구조의 관련된 자세한 특성은 해석되지 않았다. 본 논문에서는 3차원 FDTD 방법을 통해 주기 구조를 가진 NRD 가이드의 특성을 해석한다. 주기 구조로 삽입된 공기층의 두께, 간격, 개수 등의 변화에 따른 누설파의 변화를 해석하며 설계 가이드를 제시할 것이다.

2. 해석모델

해석 모델은 그림 2에 제시되어 있다. 평행 도체판

2. 해석결과

2.1 검증

FDTD 해석 프로그램을 검증하기 위해서 몇 가지 파라미터 들이 계산되었다. 그림 3은 전파상수에 대한 FDTD 결과와 해석적 결과를 비교한 그래프이다. 그림에서 볼 수 있듯이 두 결과는 매우 잘 일치한다. 누설은 전파 손실의 하나이므로 전파 상수의 감쇄량으로 표현될 수 있다. 감쇄 상수는 전파 방향으로 일정한 간격으로 떨어진 두 단면에서 필드 값을 계산하여 서로 비교함으로써 계산될 수 있다. 계산된 결과는 상용 프로그램에서 FEM(Finite Element Method)을 통해 해석된 결과와 그림 4에서 비교하였다. 두 결과 또한 비교적 잘 일치함을 알 수 있다.

2.1.1 해석결과

그림 5는 막대의 개수에 따른 감쇄 상수의 변화를 나타낸다. 처음에는 개수의 증가에 따라 감쇄 상수가 작아지다가 다섯 개부터는 거의 변화가 없음을 알 수 있다. 그림 6은 막대의 두께에 따른 결과이며, 막대의 두께가 $0.16\lambda_0$ 가 될 때, 감쇄 상수가 최소가 됨을 알 수 있다. 그림 7은 막대 사이의 간격에 따른 감쇄 상수 변화이며 간격이 $0.107\lambda_0$ 가 될 때 감쇄 상수가 최소가 된다.

위 결과로부터 주기 구조의 개수는 5개 이상은 필요가 없음을 알 수 있다. 그리고 감쇄 상수가 최소가 되는 막대의 두께 및 간격의 값 또한 알 수 있다. 그러나 위의 결과는 단순히 감쇄 상수 값을 최소로 하는 것을 목표로 하여 계산된 결과이다. 일반적인 NRD 가이드의 모달 특성을 결정하는 파라미터인 그림 2의 a, b 값은 위의 주기 구조 파라미터 값에 따라서 변화되는 값이다. 따라서 주기 구조의 두께, 간격 등을 조정함으로써 유효 a, b 값이 변화할 수 있

으며 이는 가이드의 모달 특성, 예를 들어 cut-off 주파수, bandwidth 등을 변화 시킬 수 있다.

3. 결 론

3차원 FDTD 법을 통해 NRD 가이드 내 누설 특성을 시뮬레이션 하였다. 주기 구조를 도입함으로써 누설파가 줄어들게 되나, 주기 구조의 간격, 두께, 개수 등에 따라서 누설되는 어떻게 변화하는 지 알 수 있었다. 따라서 위 결과를 이용하면 누설을 최소화 하는 주기 구조를 제안할 수 있다.

[참 고 문 헌]

[1] Ke Wu, Francois Boone, "Guided-Wave Properties of Synthesized Non-Radiative Dielectric Waveguide for Substrate Integrated Circuits(SICS)", IEEE MTT-S Int.Microwave Symp. Dig., pp. 723-726, 2001.
 [2] T. Yoneyama, S. Nishida, "Nonradiative Dielectric Waveguide for Millimeter Wave Integrated Circuits," IEEE Trans. Microwave Theory Tech., Vol. MTT-29, pp. 1188-1192, 1981.
 [3] Ke Wu, L. Han, "Hybrid Integration Technology of Planar Circuits and NRD-Guide for Cost-Effective Microwave and Millimeter-Wave Applications," IEEE Trans. Microwave Theory Tech., Vol. 45, pp. 946-954, 1997.
 [4] Xiang-yin Zeng, Kwai-man Luk, Shan-jia, "A Novel Leaky NRD Guide with a Double-Layer Dielectric Slab", IEEE Trans. Microwave Theory Tech., Vol. MTT-49, pp. 585-588, 2001.
 [5] K.S. Yee, "Numerical solution of initial boundary value problems involving Maxwell's equation in isotropic media," IEEE Trans. AP., vol. 14, pp. 302-307, 1966
 [6] A. Taflove, Computational Electrodynamics: The Finite-Difference Time-Domain Method: Artech House, 1995

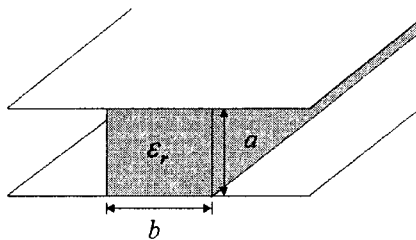


그림 1. 일반적인 NRD 가이드의 구조

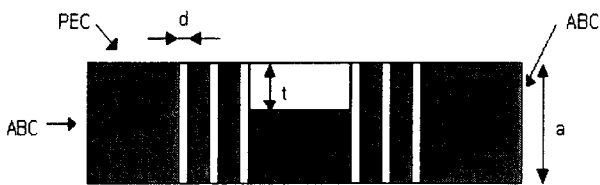


그림 2. 해석 모델의 단면도. $a = 0.45\lambda_0$, $b = 0.5\lambda_0$, d : 막대의 두께, s : 막대사이의 간격, t : 공기 갭의 두께

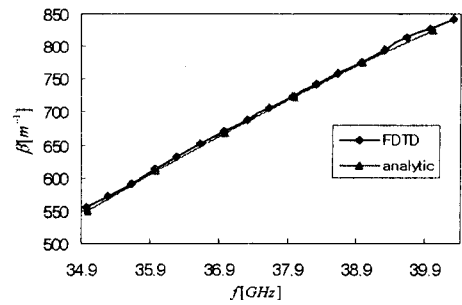


그림 3. 전파상수에 대한 FDTD 결과와 해석적 결과 비교.

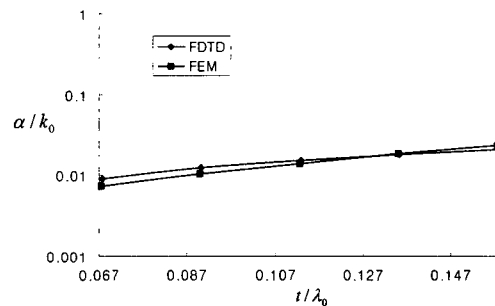


그림 4. 유전체 판의 공기 갭에 따른 감쇄상수의 변화

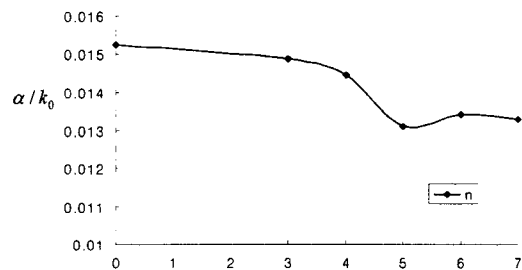


그림 5. 주기 구조의 개수에 따른 감쇄 상수의 변화

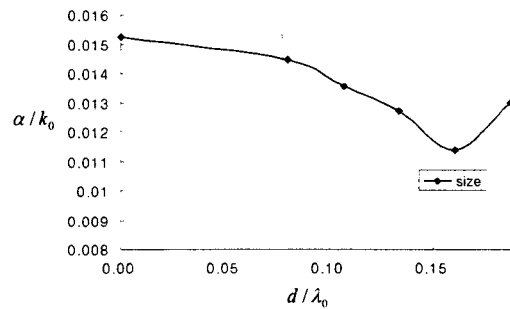


그림 6. 주기 구조의 두께에 따른 감쇄 상수의 변화

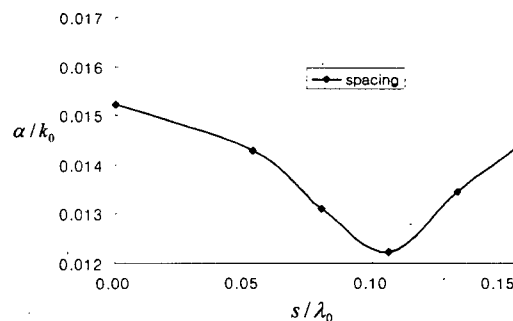


그림 7. 주기 구조 사이의 간격에 따른 감쇄 상수의 변화