

## 유전 알고리즘을 이용한 도파관 스텝 구조의 최적화

Optimization of a waveguide with stubs based on the genetic algorithm

조용희

목원대학교 정보통신공학과

Cho, Yong Heui

Mokwon University

### 요약

다양한 통신시스템 설계에 사용되는 다중 스텝 도파관 구조가 주파수 필터링 특성을 가진 것을 모드정합법을 이용해 보인다. 주파수 필터링 특성을 가진 다중 스텝 도파관 구조의 통과 대역과 차단 대역을 자동으로 설계하기 위해 적합도 함수를 정의하고 유전 알고리즘으로 구현 가능성을 보인다. 스텝 도파관 구조가 주파수 필터링 특성을 가진 것을 수치해석적으로 보이고 다양한 매개변수에 대한 특성변화를 관찰한다.

### Abstract

Using a mode-matching technique, a waveguide structure with multiple stubs which is utilized as the component of various communication systems has frequency filtering characteristics. We define a proper fitness function to automatically design the pass and stop bands of a waveguide structure with multiple stubs for frequency filtering and the genetic algorithm can be implemented with the fitness function proposed in this paper. The frequency filtering characteristics are numerically computed and parametric sweeps are also performed.

## I. 서론

도파관 구조물은 고전력 통신시스템을 효율적으로 설계하기 위한 기본 소자이다 [1]-[9]. 도파관은 금속으로 제작하기 때문에 무게가 무거워지고 제작비용이 증가하는 문제가 있다. 하지만, 다른 전송소자에 비해 전송손실이 매우 작으며 이로 인해 O-Mux와 I-Mux와 같은 고효율 및 고성능 여파기를 제작할 수 있다. 또한, 도파관은 다양한 특성의 전자파 모드를 형성할 수 있어 OMT(Ortho-Mode Transducer)와 같은 흥미 있는 응용을 쉽게 적용할 수 있다.

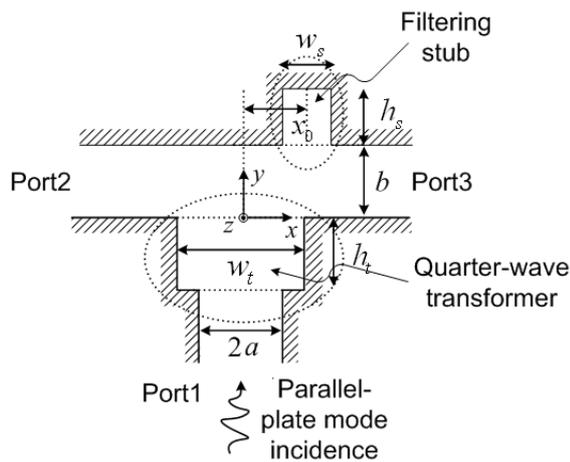
도파관을 이용한 통신시스템 하드웨어를 효과적으로 설계하기 위해서는 전자파 이론을 적용해야 한다. 도파관은 닫힌 구조이므로 여러 전자파 수치해석 방법 중 모드정합법을 이용할 수 있다. 모드정합법은 모드가 이산적으로 존재하는 경우에만 사용할 수 있으므로 도파

관 해석에는 매우 유용한 방법이다. 모드정합법은 다른 수치해석 방법들에 비해 융통성이 떨어지지만 모드를 쉽게 정의할 수 있는 구조에 대해서는 다른 어떤 방법보다 수치해석 속도가 빠르다. 또한, Fourier 급수를 고려할 때 모드정합법으로 얻은 해의 수렴성은 쉽게 증명될 수 있다.

본 논문에서는 주파수 필터링 특성을 가진 다중 스텝(stub) 도파관 구조를 모드정합법을 이용하여 해석한다. 도파관이 다중 스텝을 가지면 다중 스텝의 구조에 따라 특정 주파수에서 차단 특성을 가진 것을 보인다. 또한, 1/4파장 변환기를 이용하여 특정 주파수 대역을 통과 대역으로 만들 수 있다는 것을 보인다. 1/4파장 변환기와 다중 스텝을 동시에 사용하면 통과 대역과 차단 대역을 선택적으로 만들 수 있어 다중 스텝 도파관 구조가 주파수 필터링 특성을 가지도록 설계할 수 있다. 통과 대역과 차단대역을 적절히 배치하면 다중 스텝 도파관 구조가 넓은 대역에서 반사도 특성이 좋도록 할 수

도 있다. 원하는 주파수 대역에 통과 대역과 차단 대역을 만들기 위해서는 자동적으로 최적화하는 것이 필요하다. 전역 최적화 기법인 유전 알고리즘을 모드정합법과 연동하면 도파관 자동최적화를 할 수 있다. 하지만, 유전 알고리즘은 해의 최적성을 판단할 수 있는 적합도 함수 선택에 따라 최종결과가 달라질 수 있으므로 적합도 함수를 적절하게 정의해야 한다. 본 논문에서는 [9]에서 잘 알려진 적합도 함수를 변형하여 통과 대역과 차단 대역을 동시에 고려할 수 있는 적합도 함수를 정의한다. 새로운 적합도 함수와 기존의 유전 알고리즘 [9]을 결합하면 다중 스텝 도파관의 통과 대역과 차단 대역을 자동으로 설계할 수 있다.

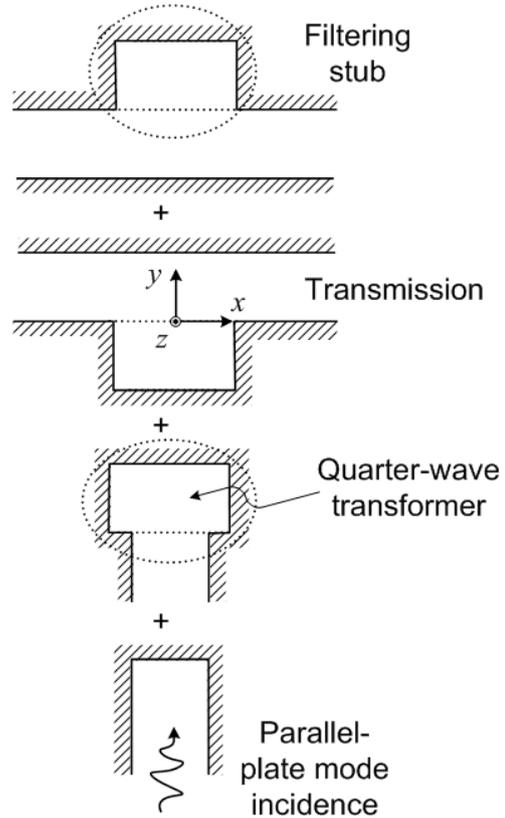
## II. 다중 스텝 도파관 구조와 적합도 함수



▶▶ 그림 1. 1/4파장 변환기를 가진 다중 스텝 도파관의 구조

그림 1은 평행판 도파관 모드가 입사하는 다중 스텝 도파관의 구조를 보여준다. 평행판 도파관 모드가 진행하는 방향은 y축이다. 그림 1에 제시한 도파관은 특정 주파수 차단을 위해 스텝 구조를 가지고 있으며 원하는 주파수를 통과시키기 위해 1/4파장 변환기(quarter-wave transformer)를 가지고 있다. 그림 1의 구조는  $0 \leq y \leq b$ 인 영역을 제외하고는 모드정합법을 이용하여 쉽게 수치해석 해를 구할 수 있다. 하지만,  $0 \leq y \leq b$  영역은 특정 축 방향으로 닫힌 영역이 존재하지 않으므로 모드를 이산적으로 정의하기가 매우 어렵다. 이 문제를 해결하기 위해 [10]에서는 중첩 T-

블록 방법을 제안하였다. 중첩 T-블록 방법에서는 열린 영역에는 그린 함수를 이용하고 닫힌 영역에는 모드정합법을 이용하여 그린 함수와 모드정합법을 편리하게 결합하고 있다. 본 논문에서도 [8]-[10]의 방법을 따라 중첩 T-블록 방법을 그림 1의 구조에 적용한다.



▶▶ 그림 2. 중첩T-블록 방법을 이용한 다중 스텝 도파관의 T-블록 분해

그림 2는 그림 1의 구조인 다중 스텝 도파관의 T-블록 분해를 보여준다. 그림 1의 기하학적 구조를 만들기 위해 3개의 T-블록을 사용하였다. 3개의 T-블록을 중첩의 원리를 이용하여 합하면 그림 1의 구조를 생성할 수 있다. 그림 1의 다중 스텝 도파관의 입사파까지 고려하기 위해 가상적인 소스 블록도 그림 2에서 정하였다.

그림 2의 T-블록의 중첩을 수학적으로 표현하면 다음과 같다.

$$H_z^{tot}(x, y) = T_H^{(1)}(x, y + h_t) + T_H^{(2)}(x, y) + T_H^{(3)}(x, b - y) \quad (1)$$

동일한 방법으로 그림 2의 소스 블록도 평행판 도파관 모드를 이용하여 아래와 같이 표현한다.

$$S_H(x, y) = \cos a_s(x + a)[e^{i\epsilon_s y} + e^{-i\epsilon_s y}] \quad (2)$$

여기서  $a_s = s\pi/2a$ ,  $\xi_s = \sqrt{k^2 - a_s^2}$ 이다. 식 (1)에 있는 T-블록 자기장을 구하려면  $y = -h_t, y = 0, y = b$ 에서 접선전기장과 접선자기장의 연속조건을 적용해야 한다. [10]을 고려하면 T-블록의 전기장은 모두 연속이므로 중첩 T-블록 방법에서는 자기장의 연속조건만 고려하면 된다.

그림 1의 구조의 주파수 필터링 특성 최적화를 위한 적합도 함수는 아래로 정의할 수 있다.

$$fitness = \frac{1}{1 + error} \quad (3)$$

$$error = (1 - w) \sqrt{error_{pass}} + w \sqrt{error_{stop}} \quad (4)$$

여기서

$$error_{pass} = \frac{1}{N_p} \sum_{i=0}^{N_p-1} e_p(f_i^p)^2 \quad (5)$$

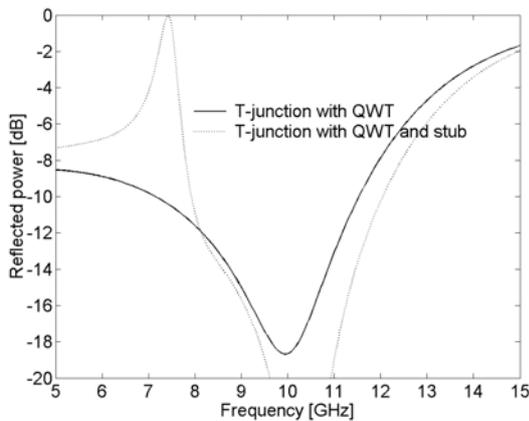
$$error_{stop} = \frac{1}{N_s} \sum_{i=0}^{N_s-1} e_s(f_i^s)^2 \quad (6)$$

$$e_p(f) = \begin{cases} RL_p - RL(f) & \text{when } RL(f) < RL_p \\ 0 & \text{when } RL(f) > RL_p \end{cases} \quad (7)$$

$$e_s(f) = \begin{cases} RL(f) - RL_s & \text{when } RL(f) > RL_s \\ 0 & \text{when } RL(f) < RL_s \end{cases} \quad (8)$$

$N_p, N_s$ 는 통과(pass) 대역과 차단(stop) 대역의 표본 수, RL은 Return Loss,  $f_i^p, f_i^s$ 는 통과 대역과 차단 대역을 나타내는 주파수이다.

### III. 수치해석

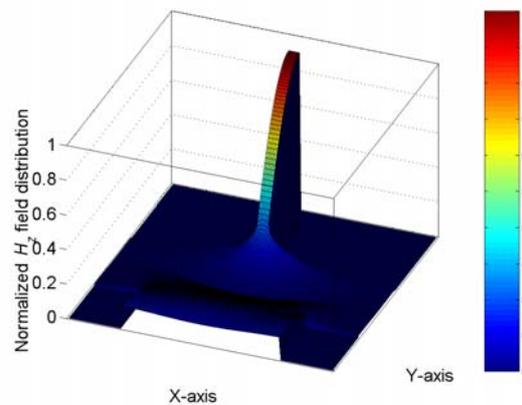


▶▶ 그림 3. 일반 1/4파장 변환기 도파관과 다중 스텝 도파관 구조의 반사도 특성

( $s = 0, a = 3.5 [mm], b = 7 [mm], w_t = 12 [mm]$ ,

$$h_t = 8 [mm], w_s = 1 [mm], h_s = 9 [mm], x_0 = 0)$$

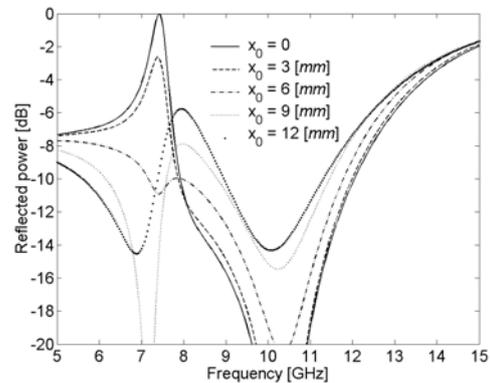
그림 3은 일반 1/4파장 변환기 도파관과 다중 스텝 도파관 구조의 반사도 특성을 상호 비교한다. 일반 1/4 파장 변환기 도파관은 그림 1 구조에서  $h_s = 0$ 인 특별한 경우로 간주할 수 있다. 일반 1/4파장 변환기 도파관은 통과 대역 특성만 가지고 있다. 하지만, 다중 스텝 도파관은 1/4파장 변환기와 스텝을 동시에 가지고 있으므로 통과 대역(10 [GHz] 근방)과 차단 대역(7.2 [GHz] 근방)을 동시에 가지고 있다.



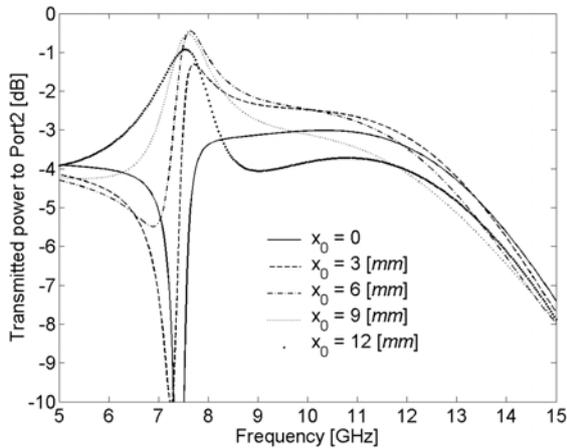
▶▶ 그림 4. 다중 스텝 도파관 구조의  $H_z$  자기장 분포 특성

( $s = 0, a = 3.5 [mm], b = 7 [mm], w_t = 12 [mm]$ ,  
 $h_t = 8 [mm], w_s = 1 [mm], h_s = 9 [mm], x_0 = 0)$

그림 4는 10.5 [GHz]에서 구한 다중 스텝 도파관 구조의  $H_z$  자기장 분포를 보여준다. 경계조건 적용면인  $y = -h_t, y = 0, y = b$ 에서 접선자기장 연속을 잘 만족하고 있다.



(a) 반사도



(b) Port 2로의 투과도

▶▶ 그림 5. 스텝의 위치 변동에 대한 반사도와 투과도 특성

( $s = 0, a = 3.5[mm], b = 7[mm], w_t = 12[mm], h_t = 8[mm], w_s = 1[mm], h_s = 9[mm], x_0 = 0$ )

그림 5는 도파관 상단에 위치한 스텝의 x축에 대한 위치 변동에 대한 반사도와 투과도 특성을 보여준다. 통과 대역 특성은 큰 변동이 없지만 차단 대역 특성은 심하게 변하고 있다. 즉, 차단 대역을 결정하는 것은 스텝의 물리적 구조라는 것을 알 수 있다.

### ■ 참고 문헌 ■

[1] F. Arndt, I. Ahrens, U. Papziner, U. Wiechmann, and R. Wilkeit, "Optimized E-plane T-junction series power dividers," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 35, no. 11, pp. 1052-1059, Nov. 1987.

[2] P. Lampariello and A. A. Oliner, "New equivalent networks with simple closed-form expressions for open and slit-coupled E-plane tee junctions," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 41, no. 5, pp. 839-847, May 1993.

[3] J. M. Rebolgar, J. Esteban, and J. E. Page, "Fullwave analysis of three and four-port rectangular waveguide junctions," *IEEE Trans.*

*Microwave Theory Tech.*, vol. 42, no. 2, pp. 256-263, Feb. 1994.

- [4] K. H. Park, H. J. Eom, and Y. Yamaguchi, "An analytic series solution for E-plane T-junction in parallel-plate waveguide," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 42, no. 2, pp. 356-358, Feb. 1994.
- [5] T. Sieverding, U. Papziner, and F. Arndt, "Mode-matching CAD of rectangular or circular multiaperture narrow-wall coupler," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 45, no. 7, pp. 1034-1040, July 1997.
- [6] Y. H. Cho, "New iterative equations for an E-plane T-junction in a parallel-plate waveguide using Green's function," *Microwave Optical Tech. Lett.*, vol. 37, no. 6, pp. 447-449, June 2003.
- [7] Y. H. Cho, "Iterative Green's function analysis of an H-plane T-junction in a parallel-plate waveguide," *J. Electromag. Waves Applicat.*, vol. 18, no. 9, pp. 1195-1202, Sept. 2004.
- [8] Y. H. Cho, "Analysis of an E-plane waveguide T-junction with a quarter-wave transformer using overlapping T-block method and genetic algorithm," *IEE Proc. - Microw. Antennas Propag.*, vol. 151, no. 6, pp. 503-506, Dec. 2004.
- [9] Y. H. Cho, "Overlapping T-block analysis and genetic optimization of rectangular grooves in a parallel-plate waveguide," *IEEE Microw. Wireless Compon. Lett.*, vol. 17, no. 11, pp. 751-753, Nov. 2007.
- [10] Y. H. Cho and H. J. Eom, "Analysis of a ridge waveguide using overlapping T-blocks," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 50, no. 10, pp. 2368-2373, Oct. 2002.