

GSM과 합성설계 방법을이용한 E-평면형 마이크로파 도파관형 대역통과 여파기 설계

김영태0*, 박준석*, 정명섭**, 천창을***, 김선형*, 임재봉**

Email : sspur@intizen.com

A Design of All Metal Inserted E-Plane Waveguide Bandpass Filter Using GSM and Synthesis Design Method

Young-Tae Kim, Jun-Seok Park, Myung-Sup Jung, Chang-Yul Cheon,
Sun Hyeong Kim, Jae-Bong Lim

Division of Information Technology Engineering, Soonchunhyang Univ
Division of Electronic., Kookmin Univ.
Division of Electron and Electric Eng., Seoul Univ.

Abstract

An efficient design method for E-plane waveguide bandpass filter has been developed. The analysis method for E-plane discontinuities with finite length is based on Generalized Scattering Matrix (GSM) method. Furthermore, the design portion is based on the filter synthesis method. Waveguide bandpass filters designed with this method have been fabricated and measured. Excellent agreements with design have been obtained

I. 서론

마이크로파 및 밀리미터파 대역에서 주로 사용되는 도파관형 대역통과 필터는 직접 결합형 공동(direct coupled cavity) 필터의 대표적인 경우로서 대역통과 필터를 구성하는 인버터를 구현하기 위하여 인덕티브 장이나 Fin-line 구조와 같은 다양한 형태의 불연속 구조를 사용한다. 인덕티브 창과 같은 불연속 구조를 이용한 도파관 필터의 제작은 비교적 복잡하고 정밀한 가공공정이 요구되며 제작 공정의 특성상 필터 설계 사양을 만족하는 특성을 구현하기 위해서는 제작 후 미세 조정공정이 요구된다.

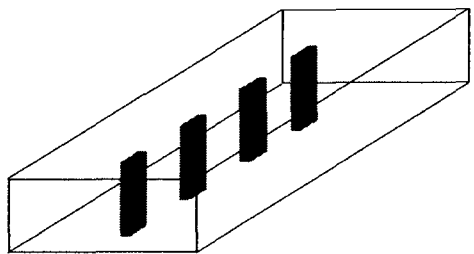
본 연구에서는 미세조정 과정을 거치지 않고 원하는 필터 사양을 만족하는 도파관형 필터를 설계하기 위하여 가공 시 가장 정밀한 가공이 가능한 E-평면형 불연

속 구조를 갖는 도파관형 대역통과 필터를 설계하는 CAD 프로그램을 개발하였다. 유한한 길이를 갖는 E-평면 도파관 구조에 대한 S-파라미터를 구하기 위하여 일반화된 산란행렬(GSM : Generalized Scattering Matrix) 방법을 사용하였으며,[1],[2] 일반화된 산란행렬 방법으로 구한 S-파라미터로부터 E-평면 불연속 구조에 대한 등가회로 파라미터를 추출하여 필터를 구성하는 인버터 구현하였다. 또한 도파관형 대역통과 필터 설계는 통과대역 보정법(Passband Correction Method)에 이은 필터 합성 설계 방법을 사용하였다.[3], [4]

본 논문에서 개발된 CAD 프로그램을 사용하여 마이크로파 증계기용 도파관 필터를 설계하고, 제작하여 그 특성을 시뮬레이션 결과와 비교하였다.

II.E-평면형도파관불연속구조의 해석

Fig.1은 All metal-inserted E-plane의 불연속 구조를 갖는 도파관형 대역통과 여파기 구조를 나타낸다.



(a) 3-D view



(b) Side view

Fig.1 E-plane waveguide bandpass filter.

$$\begin{aligned} (L_E^{\text{III}})_{mi} &= 2\sqrt{\frac{k'_{zm}}{aa_1k'_{zi}}} \int_0^{a_1} \sin\left(\frac{m\pi}{a}x\right) \sin\left(\frac{i\pi}{a_1}x\right) dx \\ &= (L_H^{\text{III}})_{im} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} (L_E^{\text{II}})_{mn} &= 2\sqrt{\frac{k'_{zm}}{a(a-a_2)k'_{zi}}} \int_{a_2}^a \sin\left(\frac{m\pi}{a}x\right) \cdot \sin\left(\frac{n\pi}{a-a_2}(x-a_2)\right) dx \\ &= (L_H^{\text{II}})_{nm} \end{aligned} \quad (2)$$

도파관형 대역통과 필터를 구성하는 유한한 길이를 갖는 E-평면형 불연속 구조에 대한 S-파라미터는 Fig.3에 나타낸 바와 같이 도파관 분기구조 접합부의 일반화된 산란행렬과 차단주파수가 높은 폭이 좁은 영역에 대한 전송행렬(transmission matrix)로부터 구할 수 있다. [2]

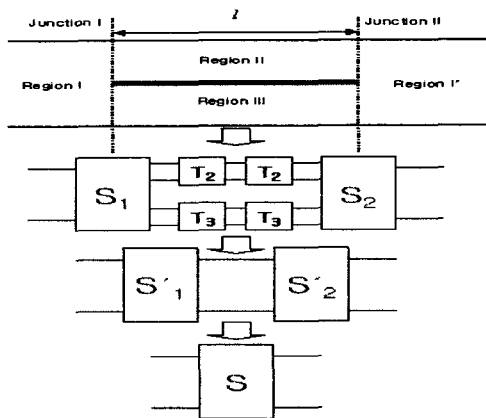


Fig.3 S-parameter deviation for E-plane septum with finite length

Fig.3에 나타낸 유한한 길이를 갖는 E-평면형 불연속 구조의 두 번째 접합부에서의 일반화된 산란행렬은 구조적 대칭성으로 인하여 첫번째의 접합부에서의 일반화된 산란행렬과 다음과 같은 관계가 성립한다.

$$S_2 = S_1^T \quad (3)$$

또한 폭이 좁은 도파관 영역을 각각 나타내는 영역II와 영역III에서 전파모드와 감쇄모드가 l/2거리 동안 전파하거나 감쇄하는 전송행렬은 다음과 같이 주어진다.

$$T = \begin{bmatrix} [I] & [0] & [0] \\ [0] & [T_2] & [0] \\ [0] & [0] & [T_3] \end{bmatrix} \quad (4)$$

식(4)에 나타낸 전송행렬과 각 접합부에서의 일반화된 산란행렬 그리고 다음의 행렬관계식을 사용하여 E-평면구조 전체에 대한 S-파라미터를 계산할 수 있다.

$$S'_1 = TS_1T \quad (5)$$

$$S'_2 = TS_2T = S'^T_1 \quad (6)$$

E-평면형 도파관필터의 기본 구조는 Fig.2(a)에 나타낸 도파관분기(Bifurcation) 구조를 갖는 3-port 도파관 접합부의 불연속 구조가 된다.

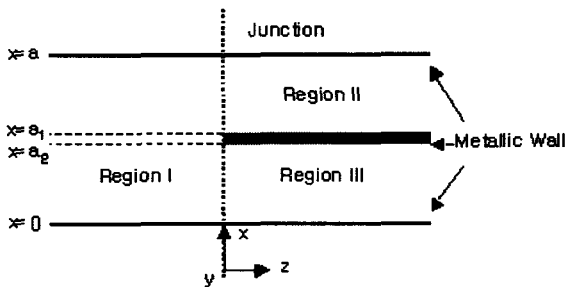


Fig.2 Waveguide bifurcation

Fig.2의 도파관 분기구조의 접합부에서의 일반화된 산란행렬(generalized scattering matrix)은 식(1)과 같이 주어지고, [1]

$$\begin{aligned} [S] &= \begin{bmatrix} [S_{11}] & [S_{12}] & [S_{13}] \\ [S_{21}] & [S_{22}] & [S_{23}] \\ [S_{31}] & [S_{32}] & [S_{33}] \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} -L_E^{\text{III}} & -L_E^{\text{II}} & I \\ I & 0 & L_H^{\text{III}} \\ 0 & I & L_H^{\text{II}} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} L_E^{\text{III}} & L_E^{\text{II}} & -I \\ I & 0 & L_H^{\text{III}} \\ 0 & I & L_H^{\text{II}} \end{bmatrix} \quad (1) \end{aligned}$$

식(1)에 나타낸 산란행렬에서의 결합계수는 다음과 같이 결정된다.

III. 대역통과 여파기 설계이론

본 논문에서는 일종의 도파관형 직접 결합 공진기형 여파기인 E-plane septum을 갖는 도파관형 대역통과 필터의 설계방법으로 분포정수 반파장 저역통과 원형여파기(Distributed half-wave lowpass prototype filter)를 Levy의 이론을 토대로 하였다. 집중정수 저역통과 원형여파기를 이용한 Cohn의 방법은 필터 설계방법이 매우 간단하나, 인버터의 주파수에 따른 특성변화, 특히 인버터위상 변화에 대한 고려가 어려운 단점이 있다. 반면에 Levy의 설계방법은 Fig.4에 나타낸 바와 같이 원형여파기가 분포정수 회로인 전송선로로 구성되어 있고, 실제 인버터 회로를 Fig.5에 나타낸 바와 같이 주파수에 따른 인버터 위상 특성 변화를 고려한 구조를 사용할 수 있다는 장점을 갖는다.[3], [4]

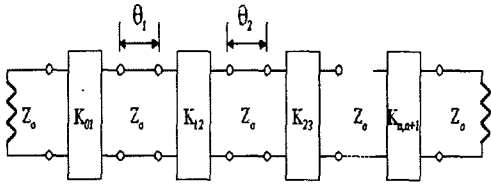


Fig.4 Equivalent circuit of E-plane waveguide bandpass filter with impedance K-inverter.

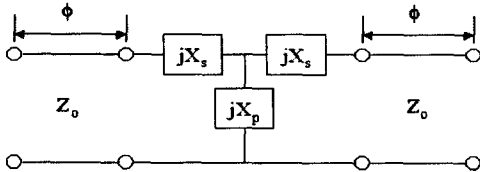


Fig.5 Equivalent circuit of E-plane septum which is useful for implementing the impedance K-inverter.

Fig.5에 나타낸 E-평면구조의 등가회로 파라미터는 S-파라미터와 2-포트 T-형 회로의 임피던스 파라미터의 변환식을 사용하여 다음과 같이 구한다.

$$\begin{bmatrix} \bar{Z} \\ \bar{Z} \end{bmatrix} = [I + S][I - S]^{-1} = \begin{bmatrix} jX_s + jX_p & jX_p \\ jX_p & jX_s + jX_p \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$jX_s = \frac{1 - S_{12} + S_{11}}{1 + S_{12} - S_{11}}$$

$$jX_p = \frac{2S_{12}}{(1 - S_{11})^2 - S_{12}^2} \quad (8)$$

Fig.5에 나타낸 등가회로 파라미터를 일반화된 산란행렬 방법으로 구한 S-파라미터로 구한 후 이미지 파라미터 (Image Parameter) 관계식을 사용하여 인

버터의 이미지 임피던스와 이미지 위상을 구하여 실제 대역통과 필터의 구현한다. [5]

$$K = Z_o \left| \tan \left(\phi + \tan^{-1} \frac{X_s}{Z_o} \right) \right| \text{ ohms}$$

$$\phi = -\frac{1}{2} \left[\tan^{-1} \left(\frac{2X_p}{Z_o} + \frac{X_s}{Z_o} \right) + \tan^{-1} \frac{X_s}{Z_o} \right] \text{ rad} \quad (9)$$

그러나 인버터의 이미지 임피던스가 등가회로의 리액턴스의 함수, 즉 주파수의 함수 이므로 인버터의 특성 임피던스가 주파수에 따라 변하게 되어 실제 이 값을 사용하여 대역통과 필터를 설계하면 대역폭이 좁아지고 중심주파수가 이동하게 된다. 따라서 본 연구에서는 통과대역 보정법(Passband correction method)을 사용하여 인버터의 주파수에 특성변화로 인한 필터의 특성 변화를 보상하여 설계하였다.

IV. 제작 및 측정

본 연구에서 개발된 E-plane septum을 갖는 도파관형 대역통과 필터 설계용 CAD 프로그램으로 마이크로파 증계기에 사용되는 대역통과 필터를 설계하였다. 설계에는 WR-42 구형 도파관을 사용하였고, 금속septum의 두께는 0.1mm로 하였다. 리플 레벨은 0.01dB, 설계중심 주파수는 각각 18GHz와 18.9GHz이고, 대역폭은 모두 400MHz이고 5단으로 설계하였다. 설계 결과는 Table 1에 나타내었다.

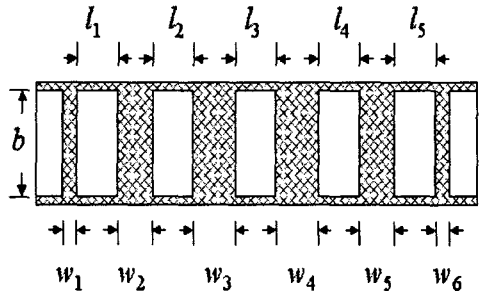
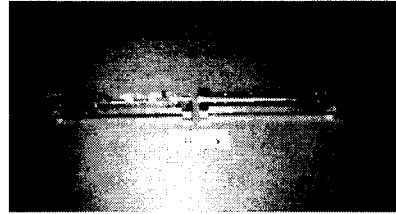


Fig.6 E-plane septum unit.

Table 1. Design results

b=5.334 mm	1	2	3	4	5	6
BPF1	li	10.55	10.878	10.889	10.878	10.55
	wi	0.4716	3.0122	3.7284	3.7284	3.0122
BPF2	li	9.193	9.383	9.389	9.383	9.193
	wi	0.779	3.743	4.495	4.495	3.743

Fig.7에 설계된 도파관 필터의 시뮬레이션 결과와 제작된 필터의 측정결과를 비교하여 나타내었다. 제작된 도파관 필터의 측정 특성이 미세조정과정 없이 이론적 특성과 매우 잘 일치하는 결과를 얻었다.



(b)

Fig.8 Photographs of fabricated filter

V. 결론

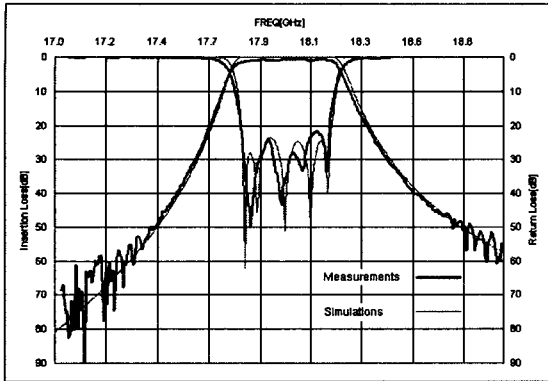
본 논문에서는 효율적이고 매우 정확한 All metal inserted E-평면 불연속 구조를 갖는 도파관형 대역통과 필터를 도파관 불연속 구조에 대한 장 해석방법, 필터 합성설계방법, 그리고 통과대역 보정법을 사용하여 설계하는 CAD프로그램을 개발하였다. 개발된 프로그램으로 설계, 제작한 도파관 필터의 측정결과는 미세조정 과정 없이 이론 치와 매우 잘 일치하는 결과를 나타내었다.

Acknowledgement

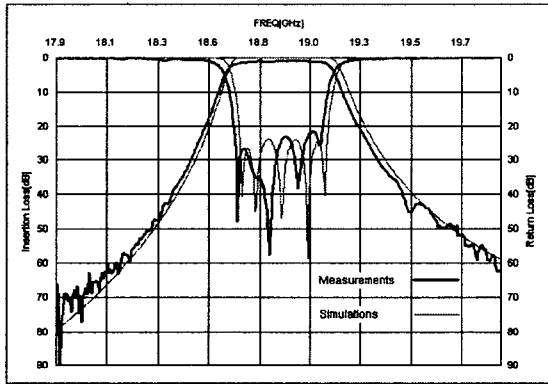
This work was supported by grant No. R02-2000- 00253 from the Korea Science & Engineering Foundation

참고 문헌

- [1] J. Uher, J. Bornemann, Uwe Rosenberg, "Waveguide Components for Antenna Feed Systems Theory and CAD ", Artech House, pp. 214-217, 1980
- [2] Yi-Chi Shin, T. Itoh, L. Q. BUI, "Computer-Aided Design of Millimeter-Wave E-plane Filters", *IEEE Trans. on MTT*, vol. 2, pp.135-142, Feb. 1983
- [3] J, B, Lim, C. W. Lee, and T. Itoh, " An accurate CAD algorithm for E-plane type bandpass filters using a new pass correction method combined with the synthesis procedures," *IEEE MTT-S Int. Microwave Symp. Dig.*, pp.1179-1182, June. 1990
- [4] 박준석, 임재봉, 김철동, "단일 E-평면구조를 이용한 협대역 도파관형 대역통과 여파기의 설계," 1995년 6월 *대한전자파학회 논문지*, 제 6 권 제 2 호 pp.43-50.
- [5] G. L. Matthaei, Leo Young, E. M. T. John "Microwave Filters, Impedance Matching Networks and Coupling tructures", Artech House, pp. 434-438, 1980



(a)



(b)

Fig.7 Comparisons between simulations and measurements

- (a) Bandpass filter with $f_0=18\text{GHz}$
- (b) Bandpass filter with $f_0=18.9\text{GHz}$

제작된 도파관형 대역통과 필터의 실제 사진을 Fig.8에 나타내었다. 도파관 제작에는 알루미늄을 사용하였고, septum 제작에는 동판을 사용하였다.



(a)