

슬롯결합을 이용한 도파관 공동 공진기 대역통과 필터 설계

Design of waveguide cavity resonator band pass filter using slot coupling

조성문* 박보연 최성열 고영호
전북대학교 전기공학과
yearr1111@hotmail.com

Seong-Mun Jo^o Bo-Youn Park Sung-Youl Choi Young-Ho Ko
Dept. of Electrical Engineering
The Graduate School of Chonbuk National University

요약

본 논문에서는 IMT2000 중계기에 사용될 수 있는 대역통과 필터를 도파관 구조를 갖는 콤라인 형태의 공진기를 사용하여 설계하였다. 공진기 사이의 결합은 필터의 크기를 작게하기 위하여 공진기 사이의 벽에 슬롯을 이용하여 구현 하였다. 5개의 공진기는 동일한 구조를 가지고 있으며 입·출력부분은 최소 임피던스가 되도록 최적화 시켰다. 대역통과 필터 특성은 0.2dB 리플을 갖는 체비셰프 함수를 이용하였으며 시뮬레이션 툴을 이용하여 해석한 결과 설계 조건을 만족하였다.

Abstract

In this paper, Filter could use to IMT2000 repeater using resonator of Comb-line form that has waveguide structure and designed . Coupled resonators designed using slot in wall between resonators to compact . 5-stage resonators have equal structure and input and output part was optimized to get into minimum impedance. Band pass filter characteristic satisfied design condition as result that used Chebyshev function that have 0.2 dB ripple and analyze using simulation tool.

Key words : 대역통과필터, 공진기, 콤라인, 결합계수

I. 서론

최근 무선통신 기술의 발달과 더불어 이용자의 수가 급증함에 따라 무선통신 시스템에서 소형, 고성능, 저비용등이 요구되고 있다. 통신 시스템에 사용되는 소자중 하나인 필터는 시스템 성능을 좌우하는

중요한 핵심 소자라 할 수 있으며, 필터의 주요 파라미터로는 소형화, 적은 삽입손실, 통과대역에서의 선형적인 위상특성, 평탄한 군 지연 속도등을 갖추고 있어야 한다. 이러한 요구조건을 만족하는 효과적인 방법으로 도파관 공진기를 이용한 도파관 필터가 많이 연구되고 있다.

본 연구에서는 도파관 공진기를 이용한 대역통과 필터를 구현 하는데 있어서 단일공진기의 실린더와 벅킷의 변화에 대하여 공진기 특성을 분석하고 공진기와 공진기사이의 결합을 도파관 벽에 슬롯을 이용하여 결합계수를 구하였다. 단일 공진기와 SMA 커넥터와의 연결에서는 최소 임피던스 점을 갖도록 SMA의 위치와 실린더의 길이를 구하였고 이들의 결과를 바탕으로 IMT 2000용 Rx 대역 대역통과 필터를 설계 하였다.

II. 콤라인 대역통과 필터 설계

2-1. 필터 설계 이론

5단의 대역통과필터를 구현하기 위해 먼저 0.2dB Chebyshev 함수를 이용한 원형 저역통과 필터의 소자값을 구하면 다음과 같다.

$$g_0 = g_6 = 1, \quad g_1 = g_5 = 1.3394 \quad (1)$$

$$g_2 = g_4 = 1.337, \quad g_3 = 2.166$$

위에서 구한 원형 저역통과 필터 소자값을 주파수 변환과 역정규화 과정을 통해서 대역통과 필터를 설계 할 수 있다.

도파관 대역 통과 필터를 구현하기 위해 임피던스 인버터를 사용해 병렬 커패시터를 직렬 인덕터로 변환한다.

2-2. 콤라인 필터

콤라인 필터는 한쪽면이 개방 되어 집중 정수형 커패시턴스를 가지고 다른 한쪽 면은 구형 도파관에 접지되어 있는 구조를 가지고 있다.

집중 정수형 커패시턴스를 이용하여 다른 구조에 비해 소형화 시킬수 있고 높은 선택도를 가지고 있어 많은 통신 시스템에서 이용되고 있는 추세다.

그림 1은 콤라인 구조를 나타내고 있다.

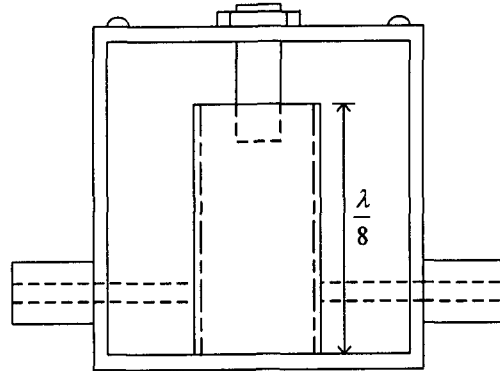


그림 1. 탭 결합을 가진 콤라인 구조

Fig 1. Tap coupled comb-line structure

그림 1과 같은 구조를 설계하는 방법은 다음과 같다.

- 1) 입력과 출력의 결합은 tap 또는 contact에 의해 직접 또는 disk를 사용할 것인지 결정하고 공진기의 최소 임피던스점에 접속한다.
- 2) 구조물에 적합한 벅킷 크기를 결정한다.
- 3) 실린더 크기를 조절하여 공진주파수를 결정한다.

보통 콤라인 구조에서 Physical size와 spurious pass-band 측면에서 벅킷 길이를 λ/8를 사용한다.

2-3. 단일 공진기

공진 주파수를 얻기 위해 한 개의 공진기를 그림 2와 같이 실린더 길이를 변화 시켜 가면서 중심 주파수를 얻었고 그에 따른 주파수 특성을 그림 3에 나타냈다.

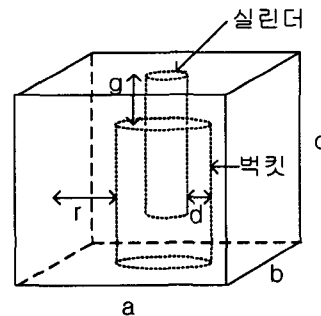


그림 2. 단일 공진기 구조

Fig 2. Single resonator structure

그림 2에서 공진기 길이를 a=b=c인 구조로 설계했고 가장 중요한 파라미터인 g, d, r 값은 서로 Combination 하므로 공진되도록 설계해야 한다.

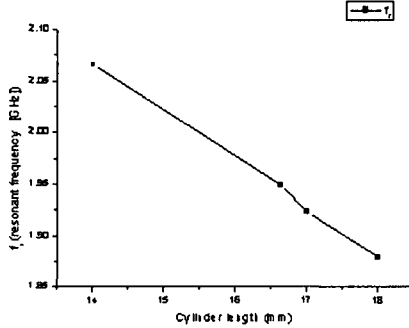


그림 3. 실린더 길이에 따른 공진 주파수와의 관계
Fig 3. Relation with resonant frequency by cylinder length

4. 결합계수

필터 이론에 의한 결합 계수를 구하는 식은 다음과 같다.

$$K_{i,i+1} = \frac{bw}{\sqrt{(g_i g_{i+1})}} \quad (2)$$

여기서 i=1 to n-1

$$bw = \frac{\Delta f}{f_0}, \quad \Delta f = f_2 - f_1$$

슬롯 결합을 이용하여 크기가 서로 동일한 두 개의 공진기를 병렬로 결합했을 때 시뮬레이션 틀을 사용하여 even(odd) 공진주파수를 구하는 식은 다음과 같다.

$$K_{i,i+1} = \frac{(f_2 - f_1)}{(f_2 + f_1)} \quad (3)$$

여기서 i=1 to n-1

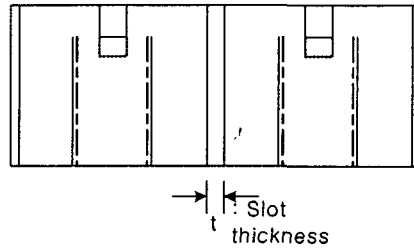
그러나, 두 개의 공진기가 서로 크기가 다른 경우 식 (4)를 이용한다.

$$k_{12}^2 = 1 - \frac{f_1^2 + f_p^2}{f_{z1}^2 + f_{z2}^2} \quad (4)$$

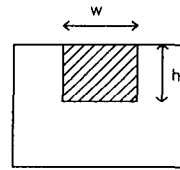
여기서, $f_1 = \frac{f_p f_{z1} f_{z2}}{f_p(f_{z1} + f_{z2}) - f_{z1} f_{z2}}$

f_p : 극점 주파수, f_{z1} f_{z2} : 두 개의 영점 주파수

필터 이론에 의한 결합계수와 시뮬레이션 틀을 사용하여 구한 결합계수를 비교한 결과와 결합계수를 구하기 위한 구조를 표1 과 그림 4에 나타내었다.



(a) 크기가 같은 두 개의 공진기 단면도



(b) 슬롯 구조

그림 4. 결합 계수를 구하기 위한 구조

Fig 4. Structure to find coupling coefficient

표 1. 결합계수 이론값과 결과값

Table 1. Theory and result value of the coupling coefficient

| | 이론값 | 결과값 |
|-------------------|--------|--------|
| $K_{12}(=K_{45})$ | 0.0084 | 0.0084 |
| $K_{23}(=K_{34})$ | 0.0066 | 0.0066 |

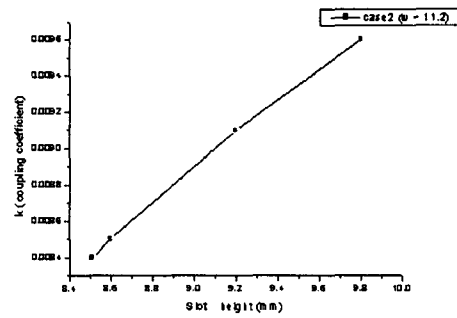


그림 6. w=11.2일때 슬롯높이에 따른 결합계수
Fig 6. Coupling coefficient by slot height at w=11.2 mm

그림 5와 그림 6은 각각 w=12.1mm와 w=11.2mm 일 때 슬롯의 높이 변화에 대한 결합계수의 변화를 보여주고 있으며 그림 7은 h=6.8mm로 하였을 때 슬롯폭 w의 변화에 대한 결합계수를 보여주고 있다. 각각의 파라미터를 변화시켜 가면서 전자계가 가장 강하게 분포하는 경우의 값을 선택하고 even, odd mode 공진주파수를 이용하여 결합계수를 구한다.

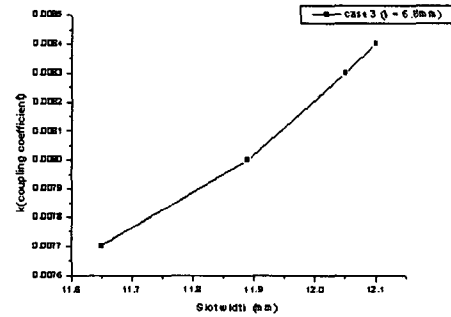


그림 7. h=6.8mm 일때 슬롯폭에 따른 결합계수
Fig 7. Coupling coefficient by slot width at h=6.8 mm

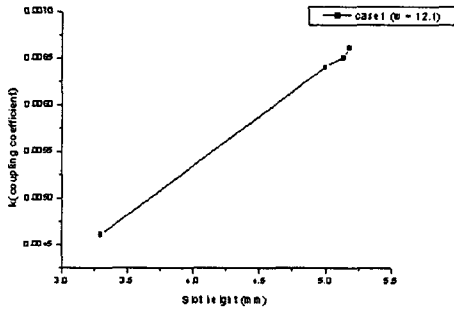


그림 5. w=12.1일때 슬롯높이에 따른 결합계수
Fig 6. Coupling coefficient by slot height at w=12.1 mm

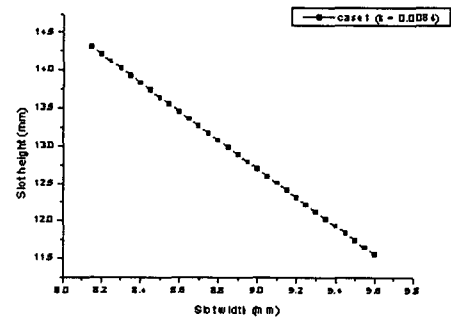


그림 8. k=0.0084일 때 슬롯 폭과 높이 관계

Fig 8. Relation between slot width and height at $k=0.0084$ mm

그림 8은 결합계수 $k=0.0084$ 값을 갖는 K_{12} 와 K_{45} 의 값을 만족하는 슬롯의 폭과 슬롯의 높이에 대한 관계를 보여주고 있다. 각각의 지점에서 전자계 분포가 가장 좋은 값을 선택 하였다. 또한 $k=0.0066$ 인 K_{23} 와 K_{34} 에서도 비슷한 결과를 얻었다.

4. 콤파인 필터 설계

그림 9과 그림10은 공진기와 공진기 사이에 슬롯 결합을 이용했고 감쇄특성을 고려해 5단 공진기 대역통과 필터를 설계한 전체 단면도와 설계된 필터의 S-parameter 특성을 나타 내었다.

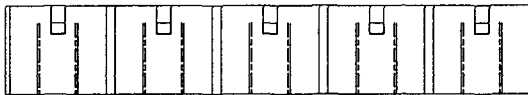


그림 9. 5개의 공진기를 결합한 콤파인 필터

Fig 9. Comb-line filter coupled 5-stage resonators

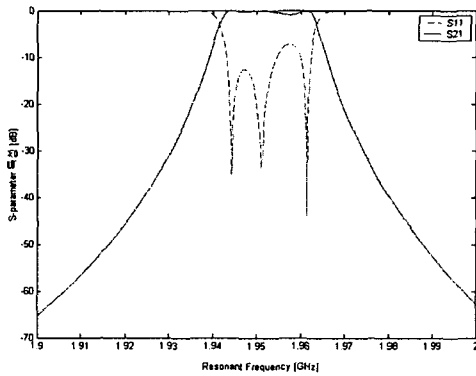


그림 10. 콤파인 필터의 S-parameter 특성
Fig 10. S-parameter characteristic of comb-line filter

표 2. 이론값과 결과값 비교

Table 2. Comparison of theory and result value

| | 이론값 | 결과값 | 단위 |
|-------------------------|------|-------|-----|
| 공진주파수 (f_r) | 1.95 | 1.951 | GHz |
| 삽입 손실 (IL) | 0.7 | 0.9 | dB |
| 반사 손실 (RL) | 20 | 13 | dB |
| 대역폭 (BW) | 22 | 22.1 | MHz |
| 감쇄 특성 ($f_r-26.9$ MHz) | 60 | 55 | dB |

S 파라미터 특성을 살펴보면 설계사양에 거의 일치하였으나 1.97GHz에서 다소 삽입 손실이 큰 특성을 나타 내었다.

III. 결론

본 논문에서는 소형화된 콤파인 구조의 도파관 공진기를 이용한 IMT 2000용 Rx 대역의 대역통과 필터를 설계하였다. 이론적인 값에 의하여 해석된 결과는 근사한 값을 보이고 있으며 IMT 2000용으로 적용됨을 확인할 수있다. 크기를 줄이고 설계 시간을 단축하기 위해 동일한 공진기 형태를 취하였고 공진기간의 결합을 슬롯 결합을 이용하였다. 슬롯 결합에 의해 필터의 특성이 많이 변하게 되기 때문에 결합계수를 이론값과 일치하도록 하였다.

향 후 연구로서는 필터의 반사손실과 삽입손실을 좀더 개선시키기 위하여 급전부에서의 해석을 좀더 명확히 하여야 한다.

참 고 문 헌

- [1] CRISTAL, E. G. : "Coupled circular cylindrical rods between parallel planes", IEEE Trans. Microw. Theory Tech, July 1964, 12, pp. 428-439
- [2] LEVY, R., and RHODES, J.D.: " A combine elliptic filter", IEEE Trans. Microw. Theory Tech., Jan. 1971, 19 pp. 26-29
- [3] WENZEL, R.J.: " Synthesis of combine and capacitively loaded interdigital bandpass filters of arbitrary bandwidth", IEEE Trans. Microw. Theory Tech., Aug. 1971, 19, pp. 678-686
- [4] Matthaei G.L., L. Young, and E.M.T. Jones, Microwave Filters, Impedance Matching Networks, and Coupling Structures, McGraw-Hill, New Youk, 1964: 497-506, 516-518
- [5] R. Rhea, HF Filter Design and Computer Simulation, Noble Publishing, Atlanta, GA, 1994: 329-337
- [6] YAO, H.W., ZAKI, K.A., ATIA, A.E., and HERSHTIG, R.: " Fullwave modelling of conducting posts in rectangular waveguides and its applications to slot coupled combine filters", IEEE Trans. Microw. Theory Tech., 1995, 43, pp. 2824-2830