

# K대역용 인터디지털 대역통과 필터분석

심재우<sup>\*</sup> · 이영철<sup>\*</sup> · 김영진<sup>\*\*</sup>  
<sup>\*</sup>경남대학교 정보통신공학부  
<sup>\*\*</sup>동의대학교 전자공학과

## The Analysis of Interdigital Bandpass Filter for K-band

Jae-Woo Sim<sup>\*</sup> · Young-Chul Rhee<sup>\*</sup> ,Young-Jin Kim<sup>\*\*</sup>  
<sup>\*</sup>Div. of Information & Comm. Eng., Kyungnam University  
<sup>\*\*</sup>Dept. of Electronic Eng. Donggeui University,  
E-mail : micropt@kyungnam.ac.kr

### 요 약

본 논문에서는 K대역 무궁화 위성통신 하향변환기에 적용을 위한 대역통과 필터를 설계하였다. 중심 주파수가 19.6GHz에서 25~30%대역만을 통과시키기 위해 6차 인터디지털 대역통과 필터를 마이크로 스트립라인으로 구성하였다. 최적화 과정을 통한 모의실험 결과 통과대역 주파수에서 삽입손실은 -0.275dB, 반사계수는 -20.95dB을 보였다. 실제 제작후 측정결과 중심주파수는 19.15GHz 삽입손실은 -4.1dB, 입력반사계수는 -15dB, 출력반사계수는 -16dB임을 확인하였다.

### ABSTRACT

In this paper, we have designed a bandpass filter to apply the downconverter of the K-band Mu-kung-hwa satellite. To pass only the 25~30% of the bandwidth at the center frequency of 19.6GHz, we have designed a six-order interdigital bandpass filter using microstrip lines. Simulation result of optimization show that insertion loss is -0.275dB and reflection coefficient is -20.95dB at the passband frequency. measurement is determined center frequency, 19.15GHz, insertion loss, -4.1dB, input reflection coefficient, -15dB and output reflection coefficient -16dB.

### I. 서 론

최근 무선통신시장의 급격한 발전으로 인하여 기존의 주파수대역이 포화상태로 됨에 따라 더 높은 주파수대역의 시스템의 필요성이 높아지고 있으며, 또한 높은주파수에서 광대역, 제작의 간편성, 작은 삽입손실, 통과 대역에서 선형적인 위상특성, 평탄한 군지연 특성 갖춘 대역통과 필터를 필요로 하고 있다.

본 논문에서는 K대역 무궁화 위성통신 하향변환기의 3단 증폭기 뒷단에서 나오는 신호를 통과시키기 위해서 소형화가 가능한 인터디지털 형식의 필터를 설계하였다. 중심주파수 19.6GHz에서 -30dB이하의 반사계수 특성을 가지며 주파수 분리도를 높이는 효과를 가지기 위해서 저역통과

필터의 기본형에 대한 소자값이 최소 6차 이상인 값을 사용하여 인터디지털 필터를 설계 및 제작하였다.

### II. Interdicting 필터 이론 및 설계

본 논문에서는 그림 1에서 보여지는 것처럼 K대역용 하향변환기의 증폭기 뒷단에서 증폭된 신호 중 원하는 신호만을 통과시키는 차단특성이 좋은 6차 인터디지털 대역통과 필터를 설계 및 제작하였고 설계 사양은 표 1과 같다.

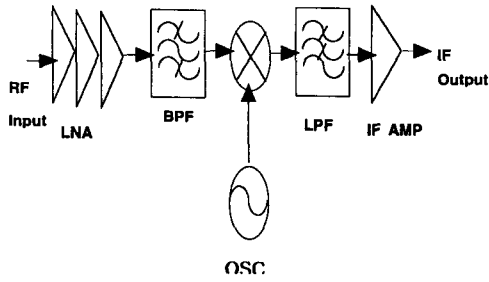


그림 1. K대역용 하향변환기 구성도

인터디지털 대역통과 필터의 설계는 저역통과 필터의 실제 소자 값의 변환에 의해서 설계된다.

$$\theta_1 = \frac{\pi}{2} \frac{w_1}{w_0} = \frac{\pi}{2} \left(1 - \frac{w}{2}\right) \quad (1)$$

$$\left. \frac{J_{k,k+1}}{Y_A} \right|_{k=2km-3} = \frac{g_2}{g_0 \sqrt{g_k g_{k+1}}} \quad (2)$$

$$\left. \frac{J_{n-2,n-1}}{Y_A} \right| = \frac{1}{g_0} \sqrt{\frac{g_0 g_2}{g_{n-2} g_{n+1}}} \quad (3)$$

$$N_{k,k+1} \Big|_{k=2km-2} = \sqrt{\left(\frac{J_{k,k+1}}{Y_A}\right)^2 + \left(\frac{w_1 g_2 \tan \theta_1}{2g_0}\right)^2} \quad (4)$$

여기서  $g_0, g_1, \dots, g_{n+1}$  최대평탄 저역통과 필터의 기본 소자값,  $J_{k,k+1}$  어드미턴스의 인버터,  $\theta_1$  전기적인 길이,  $Y_A$  특성 어드미턴스이다. 식 (4)를 이용하여 풀게 되면 선로간의 자기 커패시턴스와 상호 커패시턴스 값을 구할 수 있게된다[1]. 이 값들을 식 (5)~(6)에 적용하게 되면 첫 번째 단과 마지막 단에 대한 선로의 폭을 구할 수 있게된다[1,2].

$$\frac{w_a}{b} = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{t}{b}\right) \left[ \frac{1}{2} \left(\frac{c_a}{\epsilon}\right) - \frac{c_{fe}}{\epsilon} - \frac{c_f}{\epsilon} \right] \quad (5)$$

$$\frac{w_b}{b} = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{t}{b}\right) \left[ \frac{1}{2} \left(\frac{c_b}{\epsilon}\right) - \frac{c_{fe}}{\epsilon} - \frac{c_f}{\epsilon} \right] \quad (6)$$

$w_a/b, w_b/b$  이  $0.35[1-t/b]$  보다 작다면 식 (7) 이용한다[1].

$$\frac{w}{b} = \frac{0.07 \left[1 - \frac{t}{b}\right] + \frac{w}{b}}{1.2} \quad (7)$$

여기서  $c_a$  는  $2(c_p^a + c_{ft}^a c_{fe}^a)$ 으로 풀이할 수 있고  $c_b$  는  $2(c_p^b + c_{ft}^b c_{fe}^b)$ 으로 나타낸다. 각각의  $c_p^b, c_{ft}^b, c_{fe}^b$  은 비대칭 병렬결합 선로인 그림 2에서 알 수 있다.  $W_a$ 단부터  $W_b$ 단까지의 폭과 사이

값은  $c_a$  대신에  $c_{ab}$  값을 대체함으로써 구할 수 있다. 여기서  $c_{ab} = (c_{fo}^a - c_{fe}^a)$ 으로 나타낸다. 또한 마이크로스트립 선로간의 간격  $s_{n,n+1}$ 은 정규화된 상호 커패시턴스를 이용하여 구한다[2].

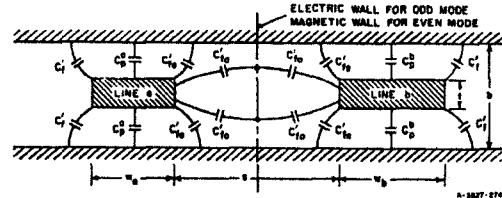


그림 2. 비대칭 병렬 결합 선로

### III. K대역용 인터디지털 대역통과 필터의 실험 및 고찰

K대역용 인터디지털 대역통과 필터를 설계하기 위한 사양은 표 1과 같다. 인터디지털 대역통과 필터 설계하기 위한 최적화 과정은 그림 3과 같다.

표 1. 인터디지털 필터의 목표 사양

| 구분     | 사양 및 목표                             |
|--------|-------------------------------------|
| 기판     | Tefron(Er=2.5, h=0.508 mm, t=0.018) |
| 중심 주파수 | 19.6 GHz                            |
| 대역폭    | 25 - 30%                            |
| 삽입손실   | -0.3 dB 이하                          |
| 반사계수   | -20 dB 이하                           |

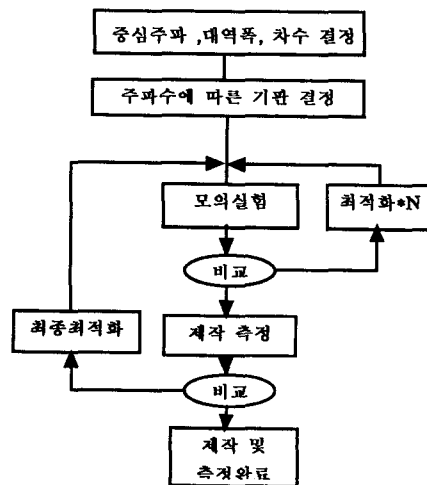


그림 3. 인터디지털 설계 순서도

설계하기 위한 중심 주파수는 19.6GHz 원하는 대역폭은 25~30%로써 광대역 특성이 요구되므로 컷 단이 개방된 형식 그리고 원하는 대역이외의 주파수에서의 낮은 감쇠특성과 중심주파수에서의 낮은 반사계수를 가지기 위해 6차 인터디지털 대역통과필터를 설계하였다. 설계된 회로는 그림4이고 계산식에 의해서 구하여진 값을 이용하여 모의실험하고 제작후 측정된 결과는 그림5,6에서 볼 수 있다[1,2].

표 2. 선로의 두께, 간격

| line | w (mm) | space | s (mm) |
|------|--------|-------|--------|
| w1   | 0.4    | s1    | 0.16   |
| w2   | 0.36   | s2    | 0.52   |
| w3   | 0.72   | s3    | 0.68   |
| w4   | 0.75   | s4    | 0.72   |
| w5   | 0.75   | s5    | 0.68   |
| w6   | 0.72   | s6    | 0.52   |
| w7   | 0.36   | s7    | 0.16   |
| w8   | 0.4    |       |        |

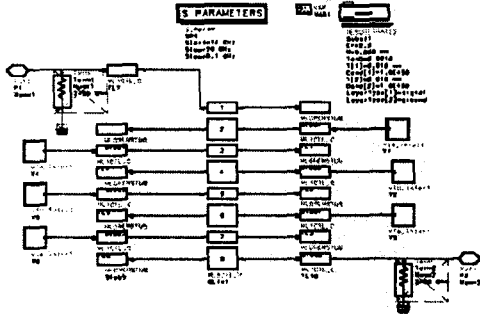


그림 4. 계산된 값에 의한 모의실험

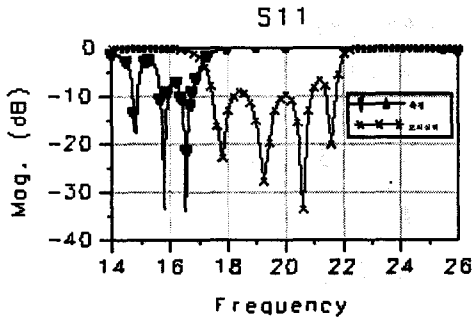


그림 5. 계산값에 의한 S11

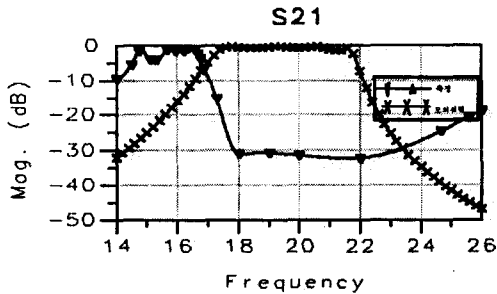


그림 6. 계산값에 의한 S21

그림5,6에서 보듯이 모의실험상에서 중심주파수가 19.6GHz이었지만, 제작후 측정결과 중심주파수가 15.7GHz로 나타났다. 또한 그림6에서 보듯이 실제 모의실험에서는 26.1%대역폭을 나타내었지만 실제 제작후 측정결과는 13%대역폭이 나타났다. 이와 같은 측정결과는 우리가 원하는 사양에 못 미침을 알 수 있었다. 따라서 본 논문에서는 중심 주파수, 삽입손실 그리고 반사계수에 영향을 미칠 수 있는 개방스트립과 접지 사이의 간격을 정확하게 계산하고, 마이크로 스트립라인의 폭, 각 단의 상호 커패시턴스 값을 고려하여 최적화된 모의실험을 하였다. 최적화 과정을 통해서 얻은 값은 표2와 같고 이 값을 이용하여 모의실험 한 회로는 그림7이며 모의실험 결과는 그림 8과 같다.

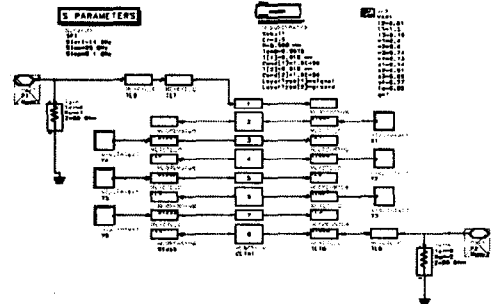


그림 7. 모의실험

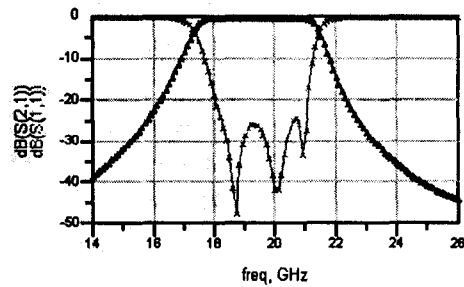


그림 8. 모의실험 결과

그림7에서 보듯이 모의실험결과 중심주파수는 19.6GHz, 반사계수는 -25.95dB, 삽입손실은-0.2dB

대역폭은 약 27%가졌고, 제작후 측정결과 그림 9,10,11에서 나온 것처럼 중심주파수는 19.15GHz 삽입손실은 -4.1dB, 입력반사계수는 -15.1dB, 출력반사계수는 -16.7dB 대역폭은 20%의 결과를 얻게 되었다.

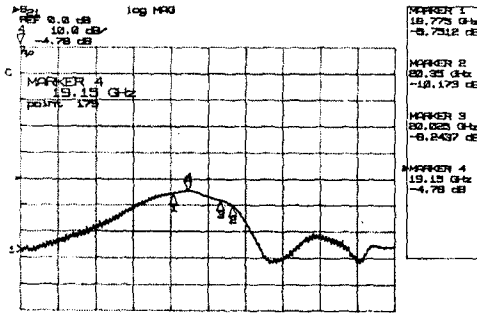


그림 9. 삽입손실

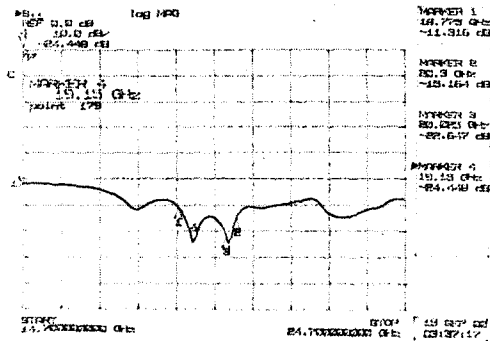


그림 10. 입력반사계수

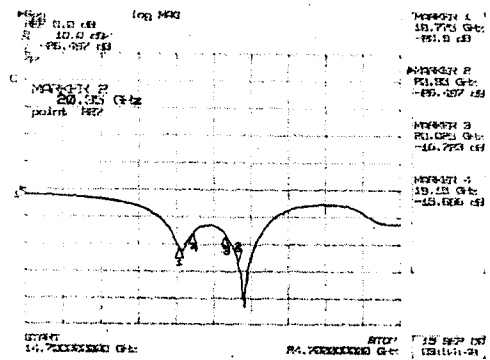


그림 11. 출력반사계수

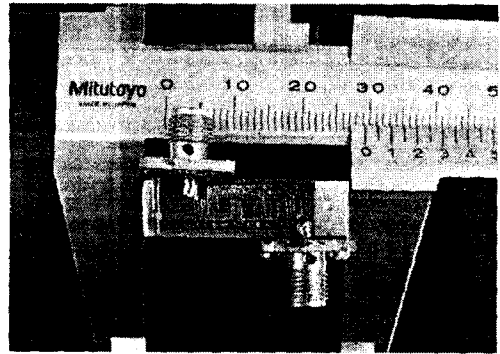


그림 13. 실제 제작된 인터디지털 필터

#### IV 결론

본 논문에서는 반사계수와 삽입손실을 개선시키고 정확한 중심주파수를 찾기 위해서 모의실험 결과와 제작후 측정결과를 비교 분석하여 모의실험 제작후 측정치의 오차를 최소화하는 최적화된 인터디지털 대역통과 필터에 대해 연구를 하였으며, 연구결과는 표3과 같이 나타났다. 표3에서 나타난 모의실험 값과 측정결과 값의 차이는 마이크로스트립 선로상의 방사손실, 유전체 손실, 그리고 제작상의 오차로 보여진다. 이와 같은 결과는 K대역 무궁화 위성용 수신단에 적용될 것으로 생각된다.

표 3. 최종 결과값

| 구분    | 목표사항      | 모의실험 값    | 측정 값      |
|-------|-----------|-----------|-----------|
| 중심주파수 | 19.6 GHz  | 19.6 %    | 19.15 GHz |
| 대역폭   | 25~30 %   | 27 %      | 20 %      |
| 삽입손실  | -0.3dB 이하 | -0.2dB 이하 | -4.1 dB   |
| 반사계수  | -20 dB 이하 | -20.95 dB | -16.7 dB  |

#### [참고 문헌]

- [1] George L. Matthaei "Interdigital band-pass filter" IEEE Trans. on Microwave Theory and Techniques, Vol MTT-10 pp 479-491 Nov 1962
- [2] William J. Getsinger, "Coupled Rectangular Bars Between Parallel Plates". IRE Transaction on Microwave Theory and Techniques, vol PGMTT-23 pp65-72, Jan, 1962
- [3] D.M Pozar Microwave Engineering Addison-Wesley, 1990
- [4] G.L. Matthaei, "Design of wide-band (and narrow) -band-pass microwave filters on the insertion loss basis," IRE Trans, ON Microwave Theory and Technique, vol MTT-8, pp 580-593; November, 1960.