

# Ka 대역 위성중계기용 4차 단일종단 이중모드 타원응답 필터에 관한 연구

염인복<sup>1</sup>, 이주섭<sup>1</sup>, 엄만석<sup>1</sup>, 이성팔<sup>1</sup>, 오승엽<sup>2</sup>

<sup>1</sup>한국전자통신연구원 통신위성개발센터

<sup>2</sup>충남대학교 전자공학과

Tel. : +82-42-860-5674, Fax. : +82-42-860-6949, E-mail : ibyom@etri.re.kr

## A Study on a 4-Pole Singly Terminated Dual-Mode Elliptic Function Filter for Ka band Satellite Applications

In-Bok Yom<sup>1</sup>, Juseop Lee<sup>1</sup>, Man Seok Uhm<sup>1</sup>, Seong Pal Lee<sup>1</sup>, Seung-Hyeub Oh<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Communications Satellite Development Center,

Electronics and Telecommunications Research Institute(ETRI),

<sup>2</sup>Dept. of Electronics Engineering, Chungnam National Univ.

Tel. : +82-42-860-5674, Fax. : +82-42-860-6949, E-mail : ibyom@etri.re.kr

### ABSTRACT

An output multiplexer of manifold type is widely employed in a recent satellite transponder due to its small size and mass. For correct operation, channel filters in manifold multiplexer must be singly terminated. In this paper, a simple synthesis method for a single terminated filter is described. From the given method, a 4-pole singly terminated elliptic function filter for Ka band satellite transponder is designed. The filter is shown to be suitable for satellite application and its measured results agrees well with computed ones.

### I. 서 론

위성 중계기에 사용되는 출력 멀티플렉서는 부피와 무게를 줄이기 위해서 주로 매니폴드(manifold)형으로 주로 설계한다[1-2]. 매니폴드 형태의 출력 멀티플렉서의 정확한 성능을 구현하기 위해서는 이에 상응하는 채널 필터는 단일 종단 필터이어야 한다[3]. 단일 종단 필터는 입력단 또는 출력단이 전압원, 전류원 또는 단락된 것으로 간주하여 설계한 필터이다. 출력 멀티플렉서의 부피와 무게를 최소화하기 위하여 각 채널 필터는 주로 하나의 물리적인 공동에 두 개의 공진모드가 존재하는 이중모드 기법[4]으로 설계한다. 필터는 주어진 규격으로부터 폴점(pole)과 영점(zero)을 결정하여 전달 함수(transfer function)를 구한 후[5-6] 회로망 파라미터(network parameter)를 추출함으로써 물리적인 구현이 가능하게 된다. 본 논문의 저자는 이전에

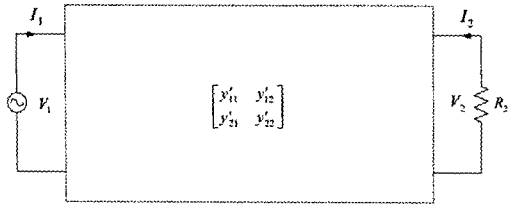
발표된 논문을 통하여 회로망 파라미터를 추출하는 방법에 있어서 orthogonal projection과 similarity transformation과 같은 행렬 연산을 이용하여 추출하는 방법[7]과, 이러한 추출 방법에 있어서 행렬 연산을 하지 않더라도 연립방정식을 이용하여 낮은 차수 필터의 회로망 파라미터를 용이하게 추출할 수 있는 방법[8]을 제시하였다. 본 논문에서는 복잡한 행렬 연산이 필요하지 않은 필터 합성방법을 이용하여 Ka 대역 위성중계기용 4차 단일종단 이중모드 타원응답 필터를 설계하여 제작함으로써 설계 방법의 유용성을 확인하였다. 필터의 제작 및 튜닝 후 측정된 결과는 설계 결과와 비교하였으며, 위성중계기에 적용 가능한 성능을 나타내었다.

### II. 필터 합성 이론

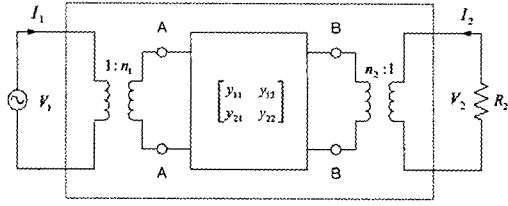
그림 2는 단일종단 필터의 등가회로를 나타내고 있다. 타원응답 필터의 전달 함수  $t(p)$ 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$t(s) = S_{21}(s) = \frac{1}{\epsilon} \frac{P(s)}{A(s) + sB(s)} \quad (1)$$

이 때,  $s = j\omega$  이다. 필터가 정규화된 저항값을 갖는 부하에 연결되어 있는 경우, 필터의 전달 어드미턴스(transfer admittance)  $Y'_{21}$ 은 다음과 같다.



(a) 비정규화 등가회로



(b) 정규화 등가회로

그림 2. 단일종단 필터의 등가회로

$$Y'_{21} = \frac{1}{\varepsilon} \frac{jP(s)}{A(s) + sB(s)} \quad (2)$$

LC 회로에 있어서 입력 전압과 출력 전류의 위상은 서로 90도 차이가 현상으로 인하여 (2)의  $j$ 를 이용하여 이를 나타낸다[9][10].

또한 전달 어드미턴스를 단락-회로망 파라미터(short-circuit parameter)를 이용하여 나타내면 다음과 같다.

$$Y'_{21} = \frac{y'_{21}}{1 + y'_{22}} \quad (3)$$

따라서, 단락-회로망 파라미터를 다음과 같이 유도할 수 있다.

$$y'_{21} = \frac{jP(s)/\varepsilon}{A(s)} \quad (4-a)$$

$$y'_{22} = \frac{sB(s)}{A(s)} \quad (4-b)$$

$n$ 차의 동조된 필터를 집중소자를 이용하여 나타내면 그림 3과 같다[9]. 그림 3으로부터 전압-전류의 관계는 다음과 같이 유도할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} V_1 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \\ V_n \end{bmatrix} = Z \cdot \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ \vdots \\ I_{n-1} \\ I_n \end{bmatrix} \quad (5)$$

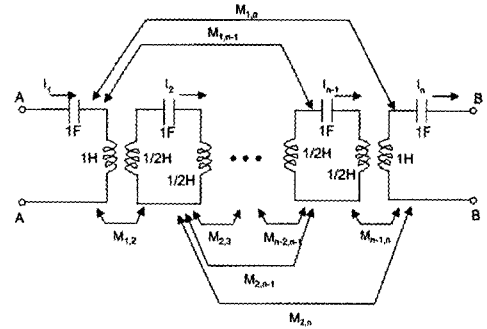


그림 3.  $n$ 차의 동조된 필터의 집중소자 등가회로

$$\begin{bmatrix} V_1 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \\ V_n \end{bmatrix} = Z \cdot \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ \vdots \\ I_{n-1} \\ I_n \end{bmatrix} \quad (5)$$

이 때,

$$Z(s) = s \cdot U_n + j \cdot M \quad (6)$$

이다. 식 (6)에서  $U_n$  은  $n$ 차의 단위 대각행렬(unit diagonal matrix)이며,  $M$  은  $n \times n$ 의 결합 행렬이다. 또한 임피던스 행렬  $Z(s)$ 와 정규화된 단락-회로망 어드미턴스와의 관계를 나타내면 다음과 같다[9]

$$y_{11} = (Z^{-1})_{11} \quad (7-a)$$

$$y_{21} = (Z^{-1})_{n1} \quad (7-b)$$

$$y_{22} = (Z^{-1})_{nn} \quad (7-c)$$

그림 2의 정규화 등가회로와 비정규화 등가회로로부터, 정규화된 단락-회로망 어드미턴스와 비정규화된 단락-회로망 어드미턴스와의 관계를 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$y'_{11} = n_1^2 y_{11} \quad (8-a)$$

$$y'_{21} = n_1 n_2 y_{21} \quad (8-b)$$

$$y'_{22} = n_2^2 y_{22} \quad (8-c)$$

식 (4-a), (7-b), (8-b)를 이용하여, 필터의 회로망 파라미터를 추출할 수 있는 연립방정식을 구할 수 있다.

$$|Z(s)| = A(s) \quad (9-a)$$

$$n_2^2 \cdot (Adj(Z))_{nn} = B(s) \quad (9-b)$$

$$n_1 n_2 \cdot (Adj(Z))_{m1} = P(s) / \epsilon \quad (9-c)$$

이 때,  $Adj(Z)$ 는 행렬  $Z$ 의 adjoint이다[11].

### III. Ka 대역 위성 증계기용 필터의 설계 및 제작

중심주파수가 20.85GHz이고 설계 대역폭이 128MHz인 필터의 대역 내 리플이 0.025dB이며 전달영점이  $\pm j \cdot 2.0$ 에 있는 경우, 이에 상응하는 4차 타원 응답 필터의 전달 함수는 다음과 같다.

$$t(s) = \frac{1}{\epsilon} \frac{s^2 + a^2}{s^4 + a_3 s^3 + a_2 s^2 + a_1 s + a_0} \quad (10)$$

이 때, 식 (10)의 계수는 다음과 같다.

$$a_3 = 2.3585$$

$$a_2 = 3.8144$$

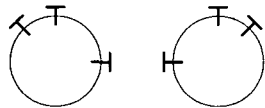
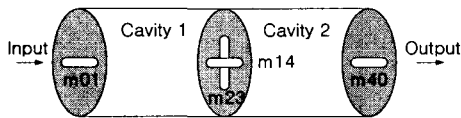
$$a_1 = 3.5835$$

$$a_0 = 1.9776$$

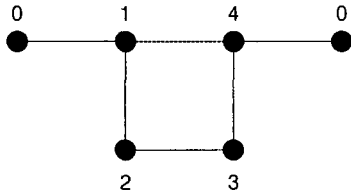
$$a^2 = 4.000$$

$$\epsilon = 2.0281$$

필터의 폴점과 영점을 결정하는 방법은 참고문헌 [5]와 [6]에 자세히 언급되어 있다. 식 (10)에서 주어진 필터의 전달함수는 그림 4와 같은 이중모드를 이용한 필터의 구조를 이용하여 구현할 수 있다.



(a) 필터 구조



(b) 필터의 신호 흐름도  
그림 4. 4차 이중모드 필터

그림 4와 같은 구조를 갖는 필터의 신호 흐름도로부터 필터의 결합 행렬은 식 (11)과 같이 표현할 수 있으며, 이러한 필터의 구현을 위하여 4개의 상호 결합 파라미터( $m_{12}$ ,  $m_{23}$ ,  $m_{34}$ ,  $m_{14}$ )와 두 개의 입출력 결합 파라미터( $n_1$ ,  $n_2$ )를 구하여야 한다.

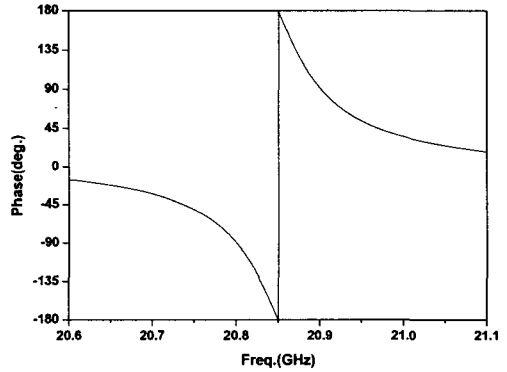
$$M = \begin{bmatrix} 0 & m_{12} & 0 & m_{14} \\ m_{12} & 0 & m_{23} & 0 \\ 0 & m_{23} & 0 & m_{34} \\ m_{14} & 0 & m_{34} & 0 \end{bmatrix} \quad (11)$$

따라서 식 (11)과 식 (9)를 이용하면 다음과 같이 상호 결합행렬과 입출력 결합 파라미터를 구할 수 있다.

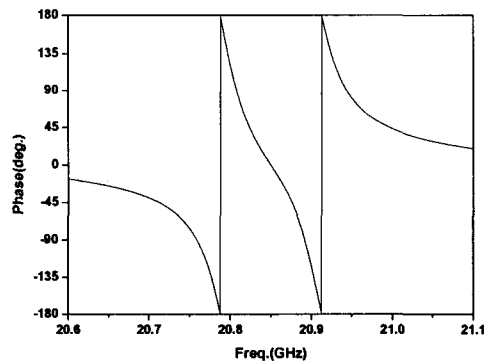
$$M = \begin{bmatrix} 0 & 0.7135 & 0 & -0.3534 \\ 0.7135 & 0 & 1.0052 & 0 \\ 0 & 1.0052 & 0 & 1.4731 \\ -0.3534 & 0 & 1.4731 & 0 \end{bmatrix}$$

$$n_1 = 0.9086$$

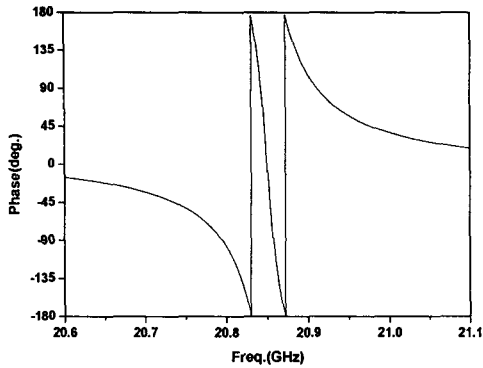
$$n_2 = 1.5357 \quad (12)$$



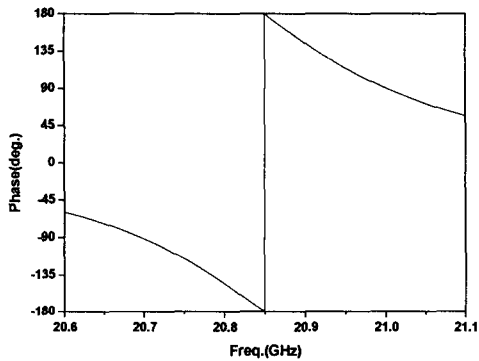
(a)  $m_{01}$  슬롯



(b)  $m_{23}$  슬롯



(c)  $m_{14}$  슬롯



(c)  $m_{40}$  슬롯

그림 5. 필터의 슬롯 측정결과

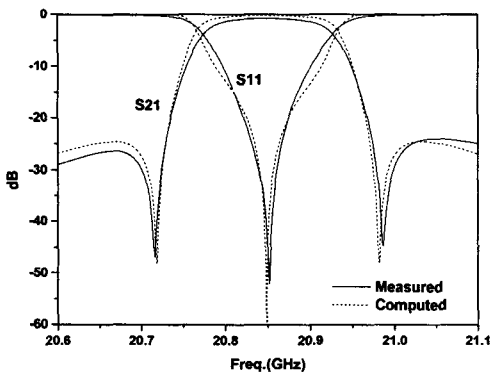


그림 6. 4차 단일중단 이중모드 필터의 설계결과 및 측정결과

식 (12)의 결합행렬에 부합하는 필터 슬롯의 크기는 측정에 의한 트리밍 과정을 통하여 결정할 수 있다 [12]. 그림 5는 각 슬롯의 측정결과를 나타내고 있다. 각 슬롯의 크기를 결정한 후, 필터는 더미 공동을 이

용한 튜닝 방법[13]을 적용하여 튜닝하였다. 튜닝 후 필터의 측정 결과를 그림 6에 나타내었다. 필터의 측정 결과 설계값과 거의 일치하였으며 제작된 필터는 Ka 대역 위성중계기에 적용 가능한 성능을 나타낼 수 있다.

#### IV. 결론

본 논문에서는 복잡한 행렬연산이 요구되지 않는 용이한 단일중단 필터의 합성 방법을 이용하여 Ka 대역 위성중계기용 4차 단일중단 이중모드 필터의 설계 및 구현에 관하여 서술하였다. 필터의 측정결과와 설계결과와 거의 일치하였으며, 위성중계기에 적용 가능한 성능을 나타내었다.

본 논문에서는 4차 필터만 설계 및 구현하였으나 다른 차수의 단일중단 필터의 설계 및 구현에도 적용이 가능하다.

#### 참고 문헌

- [1] M. Kunes, "Microwave multiplexers for space applications," *Electronics & Communication Engineering Journal*, Feb. 1998, pp. 29-35.
- [2] M. H. Chen, F. Assal, and C. Mahle, "A contiguous band multiplexer," *COMSAT Technical Review*, vol. 6, no. 2, Fall 1976, pp. 285-307.
- [3] B. J. Minnis, *Designing Microwave Circuits by Exact Synthesis*, Norwood, MA: Artech House, Chap. 2, 1996.
- [4] A. E. Williams, "A four-cavity elliptic waveguide filter," *IEEE Trans. on Microwave Theory and Tech.*, vol. 18, no. 12, Dec. 1970, pp. 1109-1114.
- [5] M. G. Ellis, Sr., *Electronic Filter Analysis and Synthesis*, Norwood, MA: Artech House, 1994.
- [6] A. I. Zverev, *Handbook of Filter Synthesis*, John Wiley & Sons, Inc., 1967.
- [7] 염인복, 이주섭, 엄만석, 이성팔, "6차 단일중단 이중모드 타원응답 필터 합성에 관한 연구," *한국전자과학회논문지*, vol. 14, no. 5, pp. 506-512, 2003년 5월
- [8] 이주섭, 엄만석, 염인복, 이성팔, "6차 단일중단 이중모드 타원응답 필터의 회로망 파라미터 추출에 관한 연구," *한국통신학회논문지*, vol. 28, no. 7A, pp. 557-562, 2003년 7월
- [9] M. H. Chen, "Singly terminated pseudo-elliptic function filter," *COMSAT Technical Review*, vol. 7, no. 2, 1977.
- [10] F. F. Kuo, *Network Analysis and Synthesis*, New York: John Wiley & Sons, Inc., 1966.
- [11] B. Noble and J. W. Daniel, *Applied Linear Algebra*, Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1988.
- [12] 이주섭, 엄만석, 강승택, 박상준, 염인복, 이성팔, "Ku 대역 위성 중계기용 이중모드 협대역 채널 여파기 및 등화기에 관한 연구," *한국통신학회논문지*, vol. 27, no. 4B, pp. 372-378, 2002년 4월.
- [13] 이주섭, 엄만석, 염인복, 이성팔, "위성 중계기용 이중모드 도파관 필터의 튜닝에 관한 연구," *한국전자과학회논문지*, vol. 14, no. 8, pp. 839-844, 2003년 8월.