

ITS용 5.8 GHz 스텐브 위치를 이용한 협대역 대역통과 여파기 설계

Design of a 5.8 GHz Narrow Band-pass Filter Using the Position of Open Stubs for ITS

윤기철 (광운대학교 석사과정)	이일우 (광운대학교 석사과정)	한승현 (광운대학교 석사과정)	장 광 (광운대학교 박사과정)
권성수 (광운대학교 박사과정)	박정근 (광운대학교 박사과정)	윤태순 (광운대학교 공학박사)	이종철 (광운대학교 부교수)

Key Words : Narrow Band, Half-wavelength, Stub Band-pass Filter

목 차

I. 서론	감사의 글
II. 구조 및 설계	참고문헌
III. 결론	

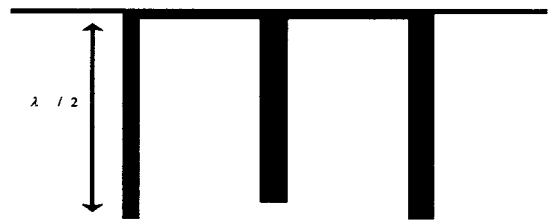
I. 서론

이동통신 시스템에서 대역 통과 여파기는 중요한 역할을 한다. 대역 통과 여파기는 원하는 대역을 통과시켜 주고 나머지 대역을 저지시켜주는 역할을 하며, 협대역과 광대역 여파기로 나뉘어 지는데 필요에 따라 광대역 혹은 협대역 여파기를 사용하게 된다. 그 중에서 스텐브 대역 통과 여파기는 주로 광대역 여파기에 사용하고 있는 것으로 널리 알려져 있지만, 만일 협대역으로 임피던스 값을 맞춰서 설계하게 된다면 스텐브의 임피던스 값이 매우 작아져 제작하는 데 매우 어려워진다는 단점이 있다. 따라서 본 논문에서는 임피던스 값의 변화없이 External quality factor, Q_e 값을 이용하여 스텐브 위치를 변화시켜서 협대역으로 구현이 가능한 여파기를 설계하였다. 협대역 여파기를 설계하기에 앞서, 먼저 광대역의 반파장 스텐브 대역통과 여파기를 설계하였고, 설계된 여파기는 스텐브 위치를 옮길 때 마다 Q_e (External quality factor) 값과 대역폭이 변화 되는 것을 관찰하여 협대역 특성을 얻을 수 있음을 실험을 통해 확인하였다. 설계된 여파기는 테프론 기판을 사용하여 3단의 Chebyshev 형태로 반파장 길이를 갖는 협대역의 스텐브 대역 통과 여파기를 설계 하였고, 기존의 광대역 $\lambda_g/2$ 개방형 스텐브 대역 통과 여파기를 $\lambda_g/2$ 협대역 개방형 스텐브 대역 통과 여파기로 변경시켰다는 특징을 보여주고 있다.

II. 구조 및 설계

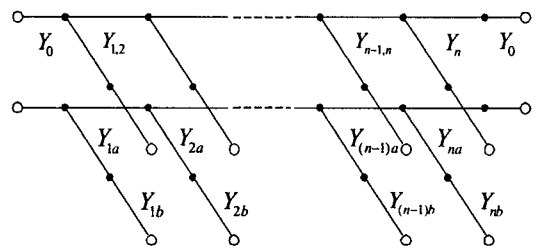
본 논문에서는 광대역 특성을 갖는 기존의 개방형 $\lambda_g/2$ 스텐브 대역 통과 여파기를 협대역 $\lambda_g/2$ 개방형 스텐브 대역 통과 여파기로 변경하여 설계하였다. 일반적인 광대역 반

파장 개방형 스텐브 대역 통과 여파기는 <그림 1>과 같다 [1].



<그림 1> 대역폭 60%의 $\lambda_g/2$ 개방형 스텐브 대역 통과 여파기

일반적인 스텐브 대역 통과 여파기는 그림 2와 같이 공진기로써 $\lambda_g/2$ 스텐브와 인버터로 동작하는 $\lambda_g/4$ 전송선로로 구성 되어진다 [2].



<그림 2> $\lambda_g/2$ 개방형 스텐브 대역 통과 여파기 구성도

<그림 2>와 같이, 스텐브 대역 통과 여파기는 $\lambda_g/2$ 스텐브와 스텐브를 연결하는 $\lambda_g/4$ 전송선로로 구성되는데, 각각의 스텐브와 전송 선로의 어드미턴스는 다음 식을 통해 구할 수 있다. 먼저, 각각의 인버터 값은 다음 식으로 주어진다.

$$\frac{J_{1,2}}{Y_0} = g_0 \sqrt{\frac{2g_1}{g_2}}, \quad \frac{J_{n-1,n}}{Y_0} = g_0 \sqrt{\frac{2g_n g_{n+1}}{g_0 g_{n-1}}}$$

$$\frac{J_{i,i+1}}{Y_0} = \frac{2g_0 g_1}{\sqrt{g_i g_{i+1}}}, \quad \text{for } i = 2 \text{ to } n-1 \quad (1)$$

식(1)에서 g_i 는 low-pass prototype에서 주어지는 값이다.

$$\theta = \frac{\pi}{2} \left(1 - \frac{\Delta}{2} \right), \quad (2)$$

여기서, θ 는 기준위상이고 Δ 는 대역폭(FBW)이다. 기준위상은 대역폭의 함수로써 기준위상과 인버터 값에 의해 각각의 스테브와 전송 선로의 어드미턴스는 다음 식을 통해 구할 수 있다.

$$Y_1 = g_0 Y_0 \left(1 - \frac{h}{2} \right) g_1 \tan \theta + Y_0 \left(N_{1,2} - \frac{J_{1,2}}{Y_0} \right),$$

$$Y_n = Y_0 \left(g_n g_{n+1} - g_0 g_1 \frac{h}{2} \right) \tan \theta + Y_0 \left(N_{n-1,n} - \frac{J_{n-1,n}}{Y_0} \right),$$

$$Y_i = Y_0 \left(N_{i-1,i} + N_{i,i+1} - \frac{J_{i-1,i}}{Y_0} - \frac{J_{i,i+1}}{Y_0} \right), \quad (3)$$

(for $i=2$ to $n-1$)

$$Y_{ia} = \frac{Y_i (\alpha_i \tan^2 \theta - 1)}{(\alpha_i + 1) \tan^2 \theta},$$

$$Y_{ib} = \alpha_i Y_{ia},$$

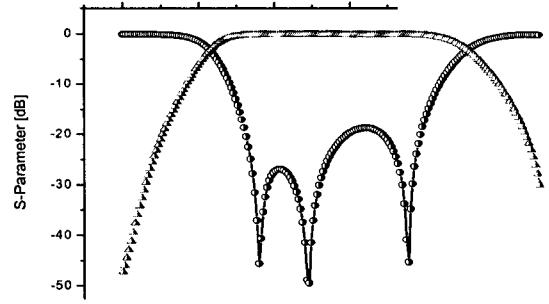
$$\alpha_i = \cot^2 \left(\frac{\pi f_{zi}}{2f_0} \right), \quad \text{(for } f_{zi} < f_1)$$

식(3)에서 Y_i 는 스테브의 어드미턴스이며, α_i 는 상수이다. 아래와 같은 식(4)은 각각의 스테브를 연결시켜주는 전송선로의 어드미턴스이다. 위와 같이 식은 다음과 같이 정의된다 [1,2].

$$Y_{i,i+1} = Y_0 \left(\frac{J_{i,i+1}}{Y_0} \right), \quad (4)$$

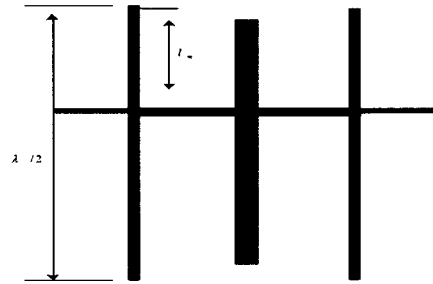
(for $i=1$ to $n-1$)

<그림 3>은 위 식을 통해 설계된 광대역 개방형 스테브 대역 통과 여파기의 시뮬레이션 결과이다.



<그림 3> $\lambda_g / 2$ 개방형 스테브 대역 통과 여파기 시뮬레이션 결과값 (대역폭: 60%)

IE3D를 통해 설계된 광대역 개방형 스테브 대역 통과 여파기는 60%의 대역폭을 갖고, 0.1 dBm의 삽입손실과 19 dBm의 반사손실을 갖는다. 일반적으로, $\lambda_g / 2$ 개방형 스테브 대역 통과 여파기는 광대역 특성을 갖게 되는데, 만일, 개방형 스테브 대역 통과 여파기를 임피던스 값을 사용하여 협대역 $\lambda_g / 2$ 스테브 대역 통과 여파기로 설계하게 된다면, 스테브의 임피던스 값이 너무 작아지기 때문에 여파기 설계가 어려워진다는 단점을 갖게 된다. 따라서, 본 논문에서는 임피던스 값 변화 없이 Q_e 값을 이용하여 스테브의 위치 l_m 를 변화시켜서 협대역의 대역 통과 여파기를 설계한 것이다. <그림 4>는 스테브 위치를 변화시켜 상대적으로 협대역을 구현한 스테브 대역 통과 여파기의 그림이다.

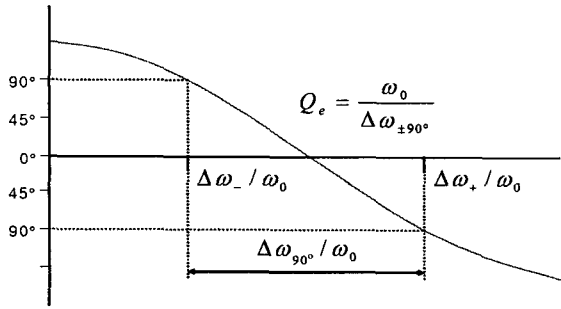


<그림 4> 새로운 협대역 $\lambda_g / 2$ 개방형 스테브 대역 통과 여파기(대역폭: 5%)

이 때, 각 스테브의 위치는 높은 커플링 효과를 얻기 위해 사용하는 tapped-line 설계방법과 유사하다. 일반적으로 interdigital, combline, hairpin 등과 같은 대역 통과 여파기는 tapped-line을 이용하여 첫 번째 인버터의 높은 커플링 값을 구현하게 된다. 이러한 tapped-line은 tapped-line의 위치에 따른 Q_e 값을 EM 해석을 통해 얻음으로써 설계되는데, 이와 유사하게 공진기로 사용되는 스테브의 위치 l_m 를 변화시킴으로써 각 공진기에서의 Q_e 값을 결정하여 협대역 스테브 대역 통과 여파기를 설계할 수 있다. 이론적으로 Q_e 값은 대역폭에 대한 함수로써 다음과 같은 식으로 주어진다 [3].

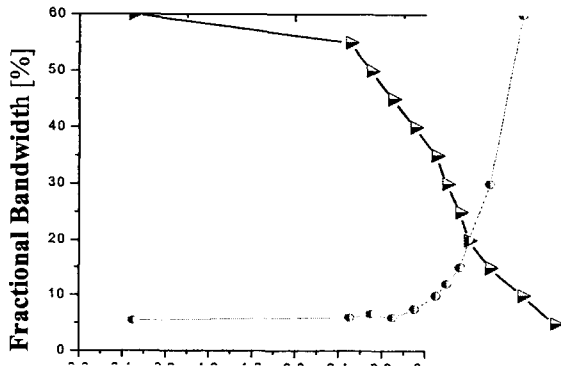
$$Q_e = \frac{g_0 g_1}{\Delta} = \frac{g_n g_{n+1}}{\Delta} \quad (5)$$

식(5)에서 Q_e 값은 대역폭 Δ 와 반비례하므로, Q_e 값이 높아지면 대역폭 Δ 는 좁아진다.



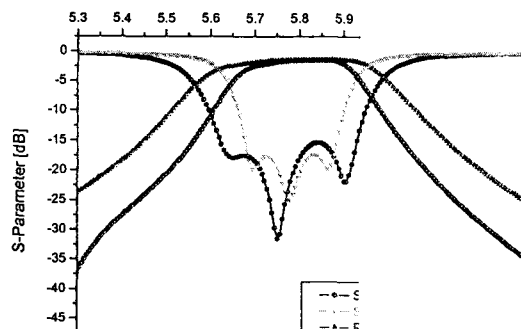
<그림 5> 스텐브의 위상 변화

<그림 5>은 스텐브의 위상 변화로써, 중심주파수 ω_0 를 기준으로 하여 $\pm 90^\circ$ 위상차이 만큼의 대역폭을 보여주고 있다. <그림 6>은 Q_e 의 설계 결과이다. 전송선로 위치에서 스텐브 위치 l_m 가 변화 할수록 대역폭이 변화되는 특성을 보여주고 있다.



<그림 6> 스텐브 위치, l_m 에 따른 Q_e 와 대역폭

<그림 7>은 본 논문에서 제안한 방법에 따라 설계된 5%의 대역폭을 갖는 대역통과 여파기에 대한 시뮬레이션 및 측정 값을 나타내고 있다.

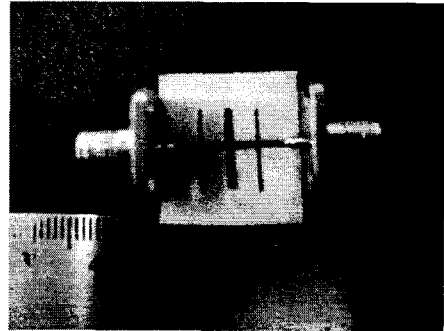


<그림 7> 새로운 형태의 $\lambda_g/2$ 개방형 스텐브 대역 통과 여파기의 시뮬레이션 및 측정 결과값 (대역폭: 5%)

<그림 3>의 60% 대역폭을 갖는 일반적인 개방형 스텐브 형태의 대역 통과 여파기와 비교해 보면 <그림 7>은 5% 대역폭을 갖는 협대역 $\lambda_g/2$ 개방형 스텐브 대역 통과 여파기로서 simulation 결과와 측정 결과를 통해 협대역 특성을 보여주고 있음을 확인할 수 있다.

그림으로부터 5.8 GHz의 중심 주파수에서 삽입손실, 반사손실에 대한 시뮬레이션 결과는 각각 1.38 dBm와 15.7 dBm, 그리고 측정 결과는 각각 1.5 dBm과 14 dBm의 값을 나타내었다.

<그림 8>은 유전율 10.2와 높이 0.635 mm를 갖는 마이크로 스트립 선로를 사용하여 실제 제작된 협대역 $\lambda_g/2$ 개방형 스텐브 대역 통과 여파기의 사진이다.



<그림 8> 실제 제작된 협대역 $\lambda_g/2$ 개방형 스텐브 대역 통과 여파기

III. 결론

본 논문은 협대역 $\lambda_g/2$ 개방형 스텐브 대역 통과 여파기에 관한 것으로써, 기존의 광대역 $\lambda_g/2$ 개방형 스텐브 대역 통과 여파기를 협대역으로 설계하기 위해 Q_e 값을 사용하여 각 스텐브의 임피던스 값 변화 없이 스텐브 위치를 변화시켜 설계하였다. 본 논문은 지능형 교통시스템에 사용되고 있는 5.8 GHz의 중심 주파수에서 삽입손실은 1.5 dB, 반사손실은 14 dB의 측정 결과를 얻었다. 지금까지의 스텐브 대역 통과 여파기는 주로 광대역에서 사용되어 왔지만, 본 논문에서 제시한 바와 같이 Q_e 값을 이용하며, 스텐브 위치를 변화시켜 협대역에서도 구현이 가능하리라 기대된다.

감사의 글

본 연구는 정보통신부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음(IITA-2006-(C1090-0603-0008))

참고문헌

1. G. L. Matthaei, L. Young, and E. M. T. Jones, *Microwave Filters, Impedance-Matching Networks, and Coupling Structures*, Artech House, 1980.
2. J. S. Hong and M. J. Lancaster, *Microstrip Filters for RF/Microwave Applications*, John Wiley & Sons, 2001.
3. J. S. Wong, "Microstrip Tapped-Line Filter Design", *IEEE Trans. Microwave Theory and Techniques.*, vol. 27, no. 1, pp.44-50, Jan. 1979.
4. E. G. Cristal, "Tapped-Line Coupled Transmission Lines with Applications to Interdigital and Compline Filters", *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 23, no. 12, pp.1007-1012, Dec. 1975.
5. S. C. J. Adelman, "Design of Compline and Interdigital Filters with Tapped-Line Input", *IEEE Trans. Microwave Theory and Techniques.*, vol. 36, no.4, pp. 759-763, April 1988.