스텝 임피던스 공진기와 입출력 탭핑을 이용한 마이크로스트립 대역통과 필터의 설계

(Design of a Microstrip Bandpass Filter Using Step Impedance Resonators and Tapped Input/Output)

朴 東 徹*, 朴 正 一**, 李 秉 南***

(Dong Chul Park, Jeong Ill Park, and Boung Nam Lee)

要 約

기존의 평행 결합 전송선 공진기 필터에 입출력 탭핑과 스텝 임피던스 공진기 개념을 도입하여 마이크로 스트립 대역통과 필터를 설계하였다. 필터의 끝단에서 강한 결합으로 인한 제작상의 난점을 탭핑 개념을 적용하여 해결하였고, 두번째 공진파수 근처의 스퓨어리스 응답 특성을 억제하기 위해 반파장 공진기와 스텝 임피던스 공진기를 같이 사용하여 필터를 구성하였다. 설계된 필터의 측정치가 이론치와 유사함을 알 수 있었다.

Abstract

A design procedure for microstrip bandpass filters using step impedance resonators (SIR's) and tapped input/output to a conventional parallel coupled line bandpass filter is presented. The filter configuration consisting of both half-wavelength and SIR's suppreses the spurious resonance response near the second harmonics, while tapping techniques offer benefit in situations where the parallel coupling at the end sections becomes very tight and physical realization becomes impractical. The measured frequency responses of the designed filter are in close agreement with the computed responses.

I. 서 론

기존의 평행 결합 전송선 공진기 필터의 설계 방법은 1958년 S. B. Cohn[1]에 의해 개발되어 그 후 현재까지 국내외로 많은 응용 연구가 보고되고 있다. 기존의 평행 결합 전송선 공진기 필터의 동작 특성을 개선시키기 위한 연구의 일환으로 1980년 Makimoto와 Yamashita[2]는 스텝 임피던스 공진기(Step Impedance Resonator: SIR)의 개념을 창안하여 스텝 임피던스 공진기를 최초로 사용한 대역통과 필터를 스트립라인형으로 제작하였고 1983년에 C. Y. Ho 와 J. H. Weidman[3]이 역시 스텝 임피던스 공진기를 이용해 평행 결합 전송선 공진기 필터를 설계, 제작하여 기존의 평행 결합 전송선 공진기 필터보다 우수

*正會員, **準會員, 忠南大學校 電子工學科
(Dept. of Elec. Eng., Chungnam Nat'l Univ.)
***正會員, 國防科學研究所
(Agency for Defense Development)
接受日字 : 1989年 7月 10日
(※이 논문은 1988년도 문교부지원 한국학술진흥재단의 자유공모과제 학술연구 조성비에 의하여 연구되었음.)

한 동작을 보여주었다. 이 스텝 임피던스 공진기의 활용은 최근 더욱 늘어 유전체 동축 공진기로도 실현되어 이동통신용 시스템에도 사용되고 있다[4,5].

위와는 별개의 관점에서 J. S. Wong[6]은 1979년에 필터의 소형화 및 제작상 난이도를 줄인다는 목적으로 tapping의 개념을 마이크로 스트립 필터에 도입하였고 1983년에 C. Y. Ho와 J. H. Weidman[7]이 기존 평행 결합 전송선 공진기 필터에 tapping 개념을 적용해 대역폭을 30%까지로 확장하였으며 동시에 필터의 소형화를 이룩하였다.

본 논문에서는 기존 평행 결합 전송선 공진기 필터에 스텝 임피던스 공진기 개념과 tapping 개념을 모두 동시에 적용시켜서 소형이며 스퓨어리스 특성이 좋고 광대역 특성을 가질 것으로 예상되는 새로운 형태의 마이크로스트립 대역통과 필터를 중심 주파수 f_0가 3.5 GHz, 통과대역 허용 균일 리플(equal ripple)이 0.01 dB, 균일 리플 대역폭이 20%, 그리고 3.025 GHz와 3.975 GHz에서 30 dB 이상의 전달손실을 주는 사양을 갖는 Chebyshev형의 필터를 설계, 제작하였다.

Ⅱ. 대역통과 필터의 설계

1. 평행 결합 전송선 공진기 필터

마이크로스트립라인을 이용하여 구성한 평행 결합 대역통과 필터의 구조가 그림 1에 보여 지고 있다. 공진기가 n개인 평행 결합 필터인 경우, n+1 개의 결합된 부분으로 구성되어 있고 각 공진기의 길이는 약 $\lambda/2$, 즉 공진 주파수 f_0에서 약 반파장의 길이와 같다.

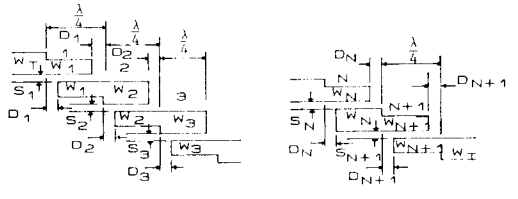


그림 1. 평행 결합 전송선 공진기 필터의 구조
Fig. 1. Parallel coupled transmission line resonator filter.

3.025GHz와 3.975GHz에서 30dB이상의 전달손실을 얻기위한 대역통과 필터의 공진기의 최소 갯수는 6개임을 참고 문헌[8]의 Matthaei의 설계 방법을 이용해 얻을 수 있다. 6개의 반파장 공진기를 결합시킨 대역통과 어드미턴스 인버터를 이용하여 나타낸 회로가 그림 2에 나타나 있다.

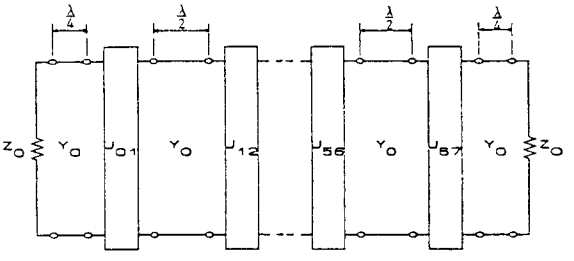


그림 2. 어드미턴스 인버터를 이용한 대역통과 필터 회로
Fig. 2. Bandpass filter circuit using admittance inverters.

어드미턴스 인버터 J값은 Chebyshev 저역통과 원형 필터의 소자값과 필터의 대역폭과 관련되어지며 아래와 같다[1].

$$\frac{J_{01}}{Y_0}=\sqrt{\frac{\pi w}{2g_0g_1}} \tag{1}$$

$$\frac{J_{i,i+1}}{Y_0}=\frac{\pi w}{2w_1'}\frac{1}{\sqrt{g_ig_{i+1}}},\quad i=1\ \text{to}\ n-1 \tag{2}$$

$$\frac{J_{n,n+1}}{Y_0}=\sqrt{\frac{\pi w}{2g_ng_{n+1}}} \tag{3}$$

여기서 g_0, g_1, …, g_n, g_{n+1}은 원형 소자값들이며, ω_1'은 1로 규정화되어 있다. 평행 결합 전송선 공진기의 평행 결합 부분의 우모드 임피던스 z_{0e}와 기모드 임피던스 z_{oo}는 image method를 이용하여

$$Z_{oe}=\frac{1}{Y_0}\left(1+\frac{J}{Y_0}+\frac{J^2}{Y_0^2}\right) \tag{4}$$

$$Z_{oo}=\frac{1}{Y_0}\left(1-\frac{J}{Y_0}+\frac{J^2}{Y_0^2}\right) \tag{5}$$

으로 구해진다[1]. 본 논문의 사양에 맞게 설계된 우모드 임피던스와 기모드 임피던스 값들을 마이크로스트립으로 구현하기 위하여 평행 결합 전송선 공진기를 구성하고 있는 마이크로스트립라인의 폭과 간격을 구해[9] 표 1에 나타내었다. 우모드 임피던스와 기모드 임피던스를 구하기 위해 사용된 참고문헌[1]의 설계방법은 설계식 유도시 협대역 근사를 적용였기

표 1. 평행 결합 전송선 공진기 필터의 칫수
Table 1. Dimensions for parallel coupled resonator filters.

	i	Wi(mm)	Si(mm)	Di(mm)
대역폭 10%	1	1.429	0.047	0.312
	2	2.109	0.469	0.332
	3	2.193	0.847	0.334
	4	2.203	0.925	0.334
대역폭 15%	1	1.214	0.033	0.306
	2	1.950	0.221	0.333
	3	2.104	0.453	0.337
	4	2.121	0.500	0.337
대역폭 20%	1	1.052	0.028	0.297
	2	1.769	0.116	0.328
	3	1.998	0.269	0.334
	4	2.024	0.302	0.335

때문에 본 논문의 허용 리플 사양하에서는 최대 23% 정도의 대역폭까지에 대해서만 의미있는 설계값을 주었다. 평행 결합 공진기 필터는 대칭인 구조를 갖기 때문에 처음 4개의 결합 부분의 값만을 구했고 W. S, D는 각각 스트립의 폭, 결합 스트립의 간격, 스트립 끝의 커패시턴스를 보상한 보상길이를 나타내며 그림 1에 표시되어 있다.

2. 평행 결합 전송선 공진기 필터의 입출력 Tapping

그림 1과 같은 기존의 평행 결합 대역통과 필터에서 대역폭을 20% 이상으로 확장시킬 경우 공진기간에 보다 강한 결합이 요구되므로 입출력단과 공진기와의 평행 결합 부분의 간격이 특히 좁아서서 제작이 힘들게 된다. 따라서 기존 평행 결합 대역통과 필터의 입출력단 평행 결합 부분을 제거하고 첫 공진기와 마지막 공진기의 알맞는 위치에 입력단과 출력단을 tapping 시킴으로써 제작상의 난점을 해결할 수 있으며 또한 평행 결합 대역통과 필터의 첫 단과 마지막 단이 제거되기 때문에 필터의 크기가 작아지는 장점도 있다.[6,7]

Tapping을 이용한 평행 결합 대역통과 필터의 tap점은 tapping되는 공진기의 외부 Q(external Q)와 연관되어 있다. 외부 Q는

$$Q_e=\frac{g_0 g_1 \omega_1'}{w} \qquad (6)$$

여기서 g_0, g_1은 원형 소자값이고, ω_1'은 1로 규정화되어 있다. Q_e와 tap점에서의 입력 임피던스 관계를 고찰해 보자. 그림 3 (a)에 tapping된 반파장 공진기가 보이고 있고 이 공진기의 전송선 등가회로가 그림 3 (b)에 있다.

$$\begin{aligned} Y&=jB \\ &=-jY_0\left[\tan\left\{\left(\frac{\pi}{2}-\theta_1\right)\frac{f}{f_0}\right\}+\tan\left\{\left(\frac{\pi}{2}+\theta_1\right)\frac{f}{f_0}\right\}\right] \\ &=jY_0\frac{\sin\left(\pi\frac{f}{f_0}\right)}{\sin^2\left(\theta_1\frac{f}{f_0}\right)} \end{aligned} \qquad (7)$$

가 된다. 입력 선로로 load된 공진기의 외부 Q(external Q)는 $Q_e=R\mathscr{l}$이고 $\mathscr{l}$는 susceptance slope parameter로[8]

$$\mathscr{l}=\frac{\omega_0}{2}\frac{dB}{d\omega}\Bigg|_{\omega=\omega_0} \qquad (8)$$

으로 나타내진다. 식 (7)과 (8)로 부터

$$\mathscr{l}=\frac{\pi Y_0}{2\sin^2\theta_1} \qquad (9)$$

이 되고 $Q_e=R\mathscr{l}$로 부터

$$Q_e=\frac{R\pi}{2Z_0\sin^2\theta_1} \qquad (10)$$

이 된다. 식 (6)과 (10), 그리고 $\theta=\pi\ell/2L$의 관계로부터 tap점 ℓ은

$$\ell=\frac{2L}{\pi}\sin^{-1}\left[\frac{\omega R\pi}{2Z_0 g_0 g_1}\right] \qquad (11)$$

이 된다. 대역폭이 10%인 대역통과 필터의 입출력단의 특성 임피던스가 $R=50\Omega$이고 첫 공진기의 특성 임피던스가 $Z_0=65.29\Omega$(전송선 폭이 1.429mm) 일 때 식 (11)을 이용하면 $\ell=3.875$mm가 되고 대역폭이 15%와 20%인 경우에는 ℓ은 각각 4.611mm와 5.199mm가 된다.

3. 스텝 임피던스 공진기 필터

기존 평행 결합 전송선 공진기 필터는 이차 고조파 근처에서 스퓨어리스 공진 응답이 나타나 발진기나 증폭기등의 출력단으로 사용되기에는 바람직하지 못할 때가 있다. 그러나 반파장 공진기 대신 스텝 임피던스 공진기(Step Impedance Resonator:SIR)를 사용하면 이차 고조파 근처의 스퓨어리스 공진 특성을 멀리 이동시킬 수 있다.[9-11]

스텝 임피던스 공진기는 그림 4에서 보여지는 것처럼 서로 다른 특성 임피던스 Z_1과 Z_2를 갖는 두개

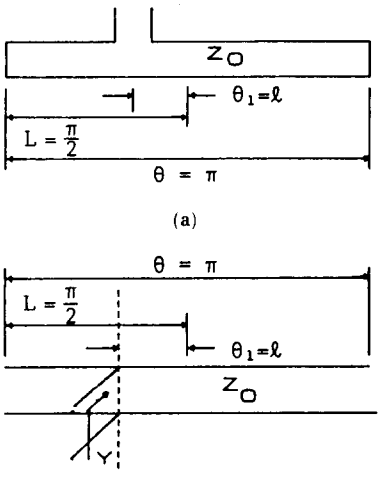


그림 3. (a) Tapping된 반파장 공진기
(b) Tapping된 반파장 공진기의 전송선 등가회로

Fig. 3. (a) Tapped-half-wavelength resonator.
(b) Transmission-line equivalent circuit for tapped-half-wavelength resonator.

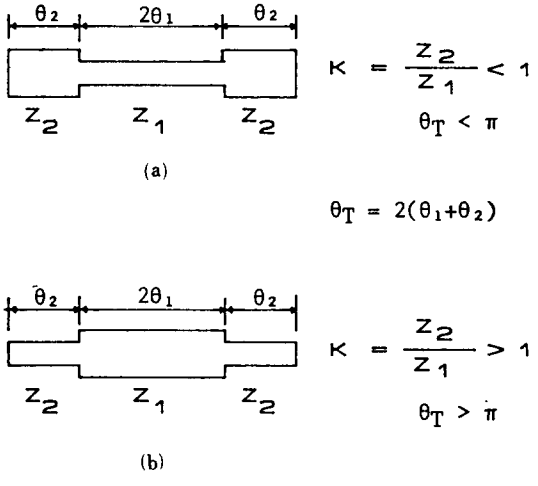


그림 4. 스텝 임피던스 공진기의 구조

Fig. 4. Structures of the step impedance resonator.

의 전송선으로 구성되어 있다.

그림 4의 SIR의 개방된 한 쪽 끝에서 본 입력 어드미턴스 Yin을 계산하고 공진시에 $Y_{in}=0$ 이 만족되어야 한다는 조건을 이용하면 기본 공진 주파수 및 기타의 고차 공진 주파수도 계산할 수 있다[2].

그림 5에 스퓨어리스 공진 주파수를 임피던스비 K값의 함수로 나타내었다. 결국, K값을 조절함으로써 스퓨어리스 공진 특성을 원하는 위치로 이동시킬 수 있음을 알 수 있다. 또한, $K<1$ 때 첫 스퓨어리스 공진 주파수가 $2f_0$ 보다 큰 값을 갖고 $K>1$ 때에는 첫 스퓨어리스 공진 주파수가 $2f_0$보다 작음을 알 수 있다. $K=1$ 일때, 즉 $Z_1=Z_2$ 일때는 반파장 공진기가 되어 공진 주파수의 정수배되는 주파수에서 스퓨어릇스 공진 특성이 나타남을 알 수 있다. $Z_1=70\Omega$, $Z_2=35\Omega$, 즉 $K=0.5$인 경우 첫번째 스퓨어리스 공진 주파수를 구해보면 $f_s=2.55f_0$ 임을 그림 5로부터 구할 수 있다.

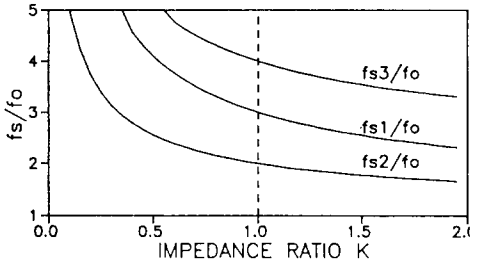


그림 5. 스텝 임피던스 공진기의 스퓨어리스 공진 주파수

Fig. 5. Spurious resonance frequencies of the step impedance resonator.

반파장 공진기와 스텝 임피던스 공진기를 비교할 때 반파장 공진기의 결합 영역은 스텝 임피던스 공진기 경우보다 더 길어서 공진기간의 간격은 반파장 공진기를 사용할 경우 더 넓어지게 되어 반파장 공진기를 사용하는 것이 제작에 유리하다. 따라서 본 논문에서는 입출력단에 인접한 공진기는 제작상의 유리함 때문에 반파장 공진기를 사용하고 그외의 공진기들은 스텝 임피던스 공진기를 사용해 제작이 비교적 쉽고 스퓨어리스 응답 개선 효과를 갖는 마이크로스트립 대역통과 필터를 구현하려고 한다. 그림 6에 반파장 공진기와 스텝 임피던스 공진기를 이용한 마이크로스트립 대역통과 필터의 구조가 보여지고 있다.

그림 6에 있는 반파장 공진기와 SIR간의 평행 결합 부분의 어드미턴스 인버터 J값을 구하고[8]이 J값으로부터 우모드 임피던스와 기모드 임피던스를 구할 수 있다[1,3]. 그리고 마이크로스트립의 폭과 각 공

표 2. 입출력이 tapping된 스텝 임피던스 공진기 필터의 칫수

Table 2. Dimensions for step impedance resonator filters using tapped input/output.

	i	Wi(mm)	Si(mm)	Di(mm)
대역폭 10%	2	3.134	0.051	0.347
	3	3.505	0.248	
	4	3.531	0.289	
대역폭 20%	2	2.876	0.022	0.344
	3	2.754	0.013	0.342
	4	2.995	0.030	
대역폭 30%	2	2.310	0.005	0.350
	3	2.047	0.001	0.344
	4	2.395	0.004	

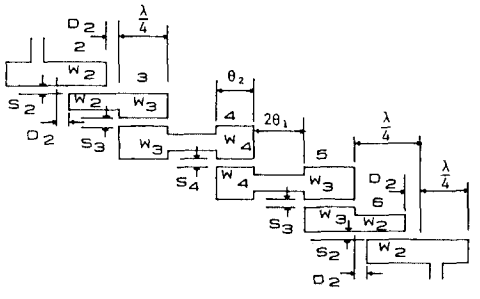


그림 6. 반파장 공진기와 스텝 임피던스 공진기를 이용한 마이크로스트립 대역통과 필터

Fig. 6. Microstrip bandpass filter using both half-wavelength resonators and step impedance resonators.

진기 사이의 간격은 앞의 1절에서 언급한 방법으로 구할 수 있다.

4. SIR 필터의 입출력단 tapping

임피던스비 K=0.5인 스텝 임피던스 공진기를 이용하여 중심 주파수가 3.5 GHz인 마이크로스트립 대역통과 필터를 설계한다. 스텝 임피던스 공진기를 이용한 대역통과 필터의 대역폭을 20%이상으로 설계할 경우, 입출력단에 인접한 공진기를 스텝 임피던스 공진기 대신 반파장 공진기를 사용함에도 불구하고 입출력단과 반파장 공진기 사이의 간격이 상당히 좁아서 제작에 어려움을 준다. 따라서 SIR 대역통과 필터에서도 2절에서와 같이 입출력단을 공진기에 직접 tapping 시키는 기법을 이용하였고 이 경우 tap 점은 2절에서와 같은 방법으로 구할 수 있다. 이와 같은 방법에 따라 설계된 스텝 임피던스 공진기와 입출력단 tapping을 모두 이용한 대역통과 필터의 칫수를 표 2에 나타내었고 W, S, D는 그림 6에 표시되어 있다. SIR의 길이는 표에 나타내지 않았으나 반파장 공진기의 길이 보다는 보통 1/3 정도 짧다. 입출력단 tapping 개념을 적용한 필터의 경우에도 표 2에 나타난 바와같이 30%의 대역폭을 갖는 필터의 경우 간격 S의 제작이 불가능해 대역폭이 20%인 필터를 최종 제작하여 실험하였다.

Ⅲ. 대역통과 필터의 제작 및 실험

1. 평행 결합 전송선 공진기 필터의 실험

평행 결합 전송선 공진기 필터의 입출력단의 tapping이 대역통과 필터의 동작 특성에 미치는 영향을 보기위해 중심 주파수가 3.5GHz이고 대역폭이 15%인 기존의 평행 결합 전송선 공진기 필터와 입출력단을 tapping한 평행 결합 전송선 공진기 필터를 제작하여 삽입손실(insertion loss)과 반사손실(return loss)을 측정하였고 이 측정치를 이론치와 대비시켜 그림 7에 나타내었다. 본 실험에서는 3M사의 상대 유전율이 $\varepsilon_r=2.45$인 LX-0300-45-11 기판을 사용하였다. 이론치 계산에 사용된 Q값은 컨덕터 손실(conductor loss)만을 가지고 참고문헌[9]에 따라 계산된 Q값은 약 250이 되어 따라서 그림 7의 이론치가 Q가 250인 경우이다. 통과대역에서의 삽입손실은 약 1 dB로 이론치인 0.9dB보다 0.1dB정도 큰데 이는 이론치에 고려되지 않은 유전체 손실과 방사 손실, 그리고 필터를 제작하는 과정에서 생긴 오차에 의한 것으로 생각된다. 기존의 평행 결합 전송선 공진기 필터와 입출력단 tapping된 필터의 동작특성이 비슷하므로 입출력단의 tapping이 필터의 특성 변화에 큰 영향을 주지 아음을 알 수 있다. 따라서 넓은 대역폭을 갖는 필터가 요구되는 경우 입출력 tapping을 이용한 마이크로스트립 필터가 기존의 필터에 비해 제작이 용이하여 더 유용한 것으로 생각된다.

2. 입출력 tapping된 SIR 필터의 실험

1절의 실험을 통해 입출력단의 tapping이 대역통과 필터의 동작 특성에 큰 영향을 주지 않음을 알 수 있었다. 따라서 마이크로스트립 필터의 대역폭의 확장은 입출력단을 tapping 함으로서 가능하겠지만 필터의 중심 주파수의 정수배 근처에서 나타나는 스퓨어리스 공진응답은 여전히 나타나고 있다. 마이크로스트립 필터의 구성에 반파장 공진기 이외에 스텝

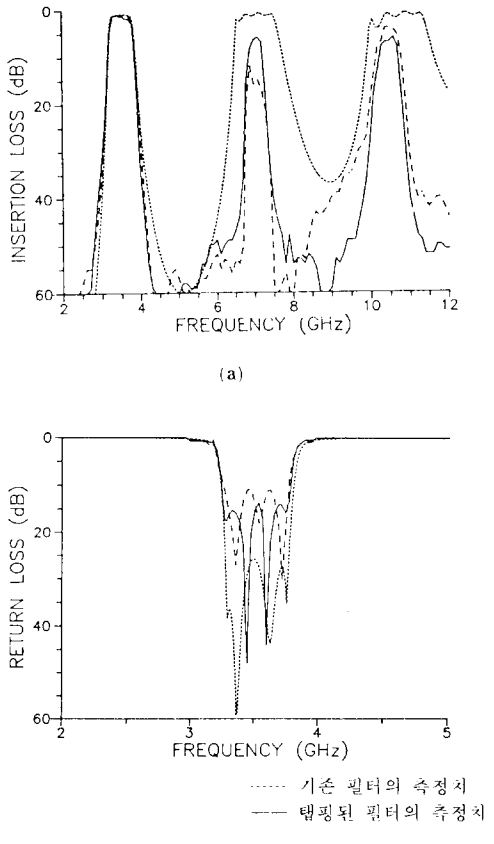


그림 7. 마이크로스트립 필터의 동작 특성
(a) 삽입손실 (b) 반사손실

Fig. 7. Frequency characteristics of the microstrip filter.
(a) Insertion loss. (b) Return loss.

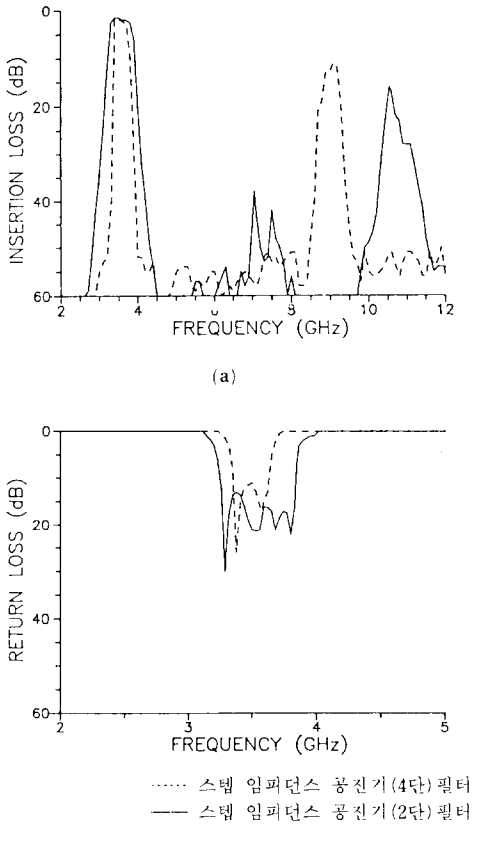


그림 8. 스텝 임피던스 공진기 필터의 동작 특성
(a) 삽입손실 (b) 반사손실

Fig. 8. Frequency characteristics of the step impedance resonator filter.
(a) Insertion loss.
(b) Return loss.

임피던스 공진기도 사용함으로써 스퓨어리스 공진 특성을 멀리 이동시키는 효과를 측정을 통해 확인해 보자.

그림 8에 중심 주파수가 3.5 GHz가 되도록 설계된 기존 마이크로스트립 필터의 6개 반파장 공진기 중에서 중앙에 있는 4개의 공진기를 스텝 임피던스 공진기로 대치하여 제작한 대역폭이 10%인 필터의 동작 특성을 나타내고 있고 또한 중앙에 있는 2개의 반파장 공진기만을 스텝 임피던스 공진기로 대치하여 얻은 대역폭이 20%인 필터의 동작 특성도 나타내어 두 특성을 대비시켰다. 이처럼 스텝 임피던스 공진기의 갯수를 달리한 것은 스텝 임피던스 공진기를 사용할 경우 결합 길이가 반파장 공진간의 결합 길이보다 짧아져 같은 양의 결합을 얻기 위하여는 공진기 간의 간격이 좁아져야만 하므로 결과적으로 제작이 어려워지기 때문이다. 그림 8에서 4개의 반파장 공진기가 SIR로 대치된 필터의 동작 특성을 보면 두 번째 통과대역이 이론치에 근사하는 원래의 7 GHz에서 8.9GHz로 이동한 것을 볼 수 있다. 넓은 대역폭을 가지며 제작상의 오차가 적은 필터를 제작하기 위해 스텝 임피던스 공진기의 갯수를 줄이고 반파장 공진기의 갯수를 늘려 보았다. 반파장 공진기는 스텝 임피던스 공진기보다 결합 영역이 넓기 때문에 공진기간의 간격이 넓어져서 필터의 제작이 비교적 쉬워진다. 그림 8 (a)에 있는 2개의 SIR을 갖는 필터의 동작 특성을 보면 첫번째 통과대역에서 삽입손실이 1.5dB정도로 참고문헌[3]과 유사한 특성

을 나타내지만 스텝 임피던스 공진기 필터의 특성인 스퓨어리스 공진 특성의 이동 효과가 두드러지게 나타나지 않고 그 대신 두번째 통과대역이 약 40dB 정도까지 억압되는 결과를 얻을 수 있었다. 이 두 실험 결과로 부터 미루어 볼 때 스텝 임피던스 공진기가 이용 될수록 스퓨어리스 공진의 이동 현상이 두드러지나 제작상의 난점에 봉착되는 경우에는 스텝 임피던스 공진기를 기존의 반파장 공진기로 환원하여야 하며 이때에는 스퓨어리스 공진 주파수의 이동보다는 스퓨어리스 공진 특성을 크게 감쇠시키는 결과를 얻을 수 있음을 알 수 있었다.

Ⅳ. 결　　론

기존의 평행 전송선 공진기 필터의 동작 대역폭을 확장시키기 위하여 입출력단 tapping 개념을 도입하여 실험한 결과, 기존의 평행 결합 전송선 공진기 필터의 동작 특성과 유사함을 알 수 있었다. 이로써 tapping의 개념을 적용하여 마이크로스트립 필터의 대역폭을 확장할 수 있었고, 제작의 용이성과 소형화도 더불어 이룩할 수 있었다. 또한, 기존의 반파장 공진기 대신 스텝 임피던스 공진기를 이용하여 이차 고조파 근처의 스퓨어리스 공진특성을 멀리 이동시키는 효과를 확인하였다. 제작상의 난이도를 줄이기 위해 반파장 공진기와 스텝 임피던스 공진기를 같이 사용한 경우에 이차 고조파 공진특성을 이동시키지는 못했으나 이차 고조파 근처의 통과대역을 크게 억제시키는 결과를 확인할 수 있었다. 따라서, 기존의 평행 결합 마이크로스트립 대역통과 필터에 입출력 tapping 개념과 SIR 개념을 동시에 적용하여 20% 정도까지의 대역폭을 가지며 이차 고조파 공진현상도 개선된 마이크로스트립 대역통과 필터를 구현하였다. 제작된 필터의 측정치는 이론치와 잘 일치하였으며 이 유형의 필터는 발진기나 증폭기등 비선형 능동소자의 출력단과 각종 마이크로파 통신 장비, 레이다 장비 등에 응용될 수 있을 것이다.

參 考 文 獻

[1] S.B. Cohn, "Parallel-coupled transmission-line-Resonator filters," *IRE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. MTT-6, pp. 223-232, April. 1958.

[2] M. Makimoto and S. Yamashita, "Bandpass filters using parallel coupled stripline SIR," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. MTT-28, pp. 1413-1417, Dec. 1980.

[3] C.Y. Ho and J.H. Weidman, "Half-wavelength and step impedance resonators aid microstrip filter design," *Microwave systems News*, pp. 88-103, Oct. 1983.

[4] M. Makimoto and S. Yamashita, "Compact bandpass filters using stepped impedance resonators," *Proc. IEEE*, vol. 67, pp. 16-19, Jan. 1979.

[5] M. Sagawa, M. Makimoto, and S. Yamashita, "A design method of bandpass filters using dielectric-filled coaxial resonators," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. MTT-33, pp. 152-157, Feb. 1985.

[6] J.S. Wong, "Microstrip tapped-line filter design," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. MTT-27, pp. 44-50, Jan. 1979.

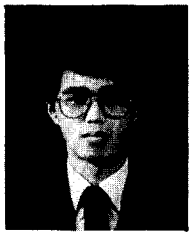
[7] C.Y. Ho and J.H. Weidman, "Improved design of parallel coupled line filters with tapped input/output," *Microwave Journal*, pp. 127-130, Oct. 1983.

[8] G.L. Matthaei, L. Young and E.M.T. Jones, *Microwave Filters, Impedance-Matching Networks, and Coupling Structures.* Dedham: Artech House, pp. 100-102, 1980.

[9] T.C. Edwards, *Foundations for Microstrip Circuit Design.* New York: John Wiley & Sons, Inc. 1981.

著 者 紹 介

朴 東 徹 (正會員) 第26卷 第 6 號 參照
현재 충남대학교 전자공학과 부교수



朴 正 一(準會員)
1965年 8月 26日生. 1988年 2月 충남대학교 전자공학과 공학사학위 취득. 1988年 3月～현재 충남대학교 대학원 전자공학과 석사과정 재학중. 주관심분야는 마이크로파 필터 설계, 페라이트 변위기 설계 등임.

李 秉 南(正會員)
1964年 9月 20日生. 1987年 2月 충남대학교 대학원 전자공학과 공학석사학위 취득. 1989年 3月～현재 국방과학연구소 근무중. 주관심분야는 마이크로파 필터 설계, 페라이트 변위기 설계등임.