
결합 및 교차 선로를 갖는 마이크로스트립 개방루프 공진기를 이용한 협대역 대역통과 여파기 설계

안승현*, 이영구**, 이문수***

Design of a Narrow-Band Bandpass Filter Using Microstrip Open-Loop Resonators With Coupled and Crossing Lines

Seung Hyun Ahn*, Young Gu Lee** and Mun Soo Lee***

요약

본 논문에서는 교차 및 결합 선로를 갖는 마이크로스트립 개방루프 공진기를 이용한 협대역 대역통과 여파기를 설계·제작하였다. 이 여파기는 크기가 작고 경량이며, 협대역 타원함수 대역통과 특성과 같은 우수한 특성을 가지고 있다.

여파기는 두 개의 동일한 마이크로스트립 개방루프 공진기와 교차 및 결합선로로 구성되어 있다. 개방루프 공진기를 사용함으로써 여파기 크기는 링 공진기와 비교하여 50% 정도가 축소된다. 교차선로는 억제대역에서 두 개의 노치를 제공하므로, 통과대역에서 예리한 선택도를 가진다. 중심주파수 2.455GHz로 설계된 마이크로스트립 대역통과 여파기는 1.22%의 대역폭을 가지며, 이는 무선LAN의 응용에 매우 적합하다.

여파기는 포토 에칭법으로 제작하였다. 제작된 대역통과 여파기는 2.458GHz대에서 0.85%의 대역폭을 가지며 크기는 2.6cm×1cm이다.

ABSTRACT

In this paper, a narrow-band bandpass filter using microstrip open-loop resonators with coupled and crossing lines is designed and fabricated. This filter has many advantages such as compact in size, low weight and the characteristic of the elliptic-function narrow-band bandpass filtering.

The configuration consists of two identical microstrip open loop resonators, coupled line and crossing line. By using open loop resonators, the size of the filter can be reduced about 50% compared with the ring resonators. A crossing line gives two notches in the stopband, which have sharp selectivity in the passband. Centered at 2.455GHz, the calculated microstrip bandpass filter shows a bandwidth of 1.22%, which makes it very attractive for application in the wireless LAN.

The filter is fabricated by photo-etching process. The fabricated bandpass filter shows that the bandwidth is 0.85% for 2.458GHz and the size is only 2.6cm×1cm.

* MBC 근무

** 동군산업 근무

*** 경상대학교 전자공학과 교수

접수일자: 2001. 10. 5

1. 서론

현대에 이르러 마이크로파를 이용한 개인 휴대통신과 위성통신 및 무선 근거리 지역 통신망(WLAN : Wireless Local Area Networks) 등이 널리 사용됨에 따라 가볍고 소형이며 박막의 장점을 갖는 마이크로스트립 여파기가 통신장비의 주요 소자로 적합하다.

인터넷 보급과 기업에서의 네트워크 컴퓨팅 발전에 따라 LAN의 보급이 활성화되고, 특히 사무실의 레이아웃 변경에 따른 배선의 빈번한 변경 또는 배선이 불가능한 장소, 특히 이동성이 강조된 노트북 PC 등의 보급으로 무선 LAN에 대한 관심이 증대되고 있다. 이러한 무선 LAN과 같은 네트워크 장비는 2.4GHz대에서 작은 삽입손실과 예리한 선택도를 갖는 고성능의 협대역(30MHz) 통과 대역 여파기를 소형화하는 것이 요구된다.

개방 루프 공진기는 링 마이크로스트립 여파기와 비교하여 공진기의 길이가 절반이므로 크기 면에서 훨씬 소형화 될 뿐만 아니라 협대역과 예리한 선택도를 갖기 때문에 현대의 이동통신 요구조건에 매우 적합하다.

본 논문에서는 무선 LAN에 사용될 수 있는 2.4GHz대에서 대역폭이 약 1% 정도의 협대역 대역통과 특성 및 예리한 차단특성을 갖는 여파기를 제작하기 위해 기존의 개방 루프 공진기에 추가적으로 교차선로와 결합선로를 사용하여 협대역 대역통과와 예리한 차단특성을 갖는 마이크로스트립 대역통과 여파기를 설계한다. 이러한 마이크로스트립 여파기는 복사손과 유전체 손실이 작고 여파기의 크기가 작아지도록 유전율이 10.2이고, 기판 두께가 1.27mm인 RT/Duroid 기판을 사용하여 제작한다.

II. 개방루프 공진기 여파기

개방루프 공진기는 타원함수 응답을 구현할 수 있는 다양한 필터의 구조를 만들 수 있고, 크기가 소형이기 때문에 이동통신 등의 많은 응용분야에 사용된다 [1]. 먼저 그림 1(a)는 용량성 부하가 연결된 무손실 전송선로 공진기를 나타낸 것으로, Z_a 는 특성 임피던스, β_a 는 전파상수, d 는 선로의 길이이다. 그리고 선로의 전기적 길이는 $\theta_a = \beta_a d$ 이다.

그림 1(a)에서 입력 전압 전류와 출력 전압 전류 사이에는 다음의 관계가 성립된다[2].

$$\begin{bmatrix} V_1 \\ I_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_2 \\ -I_2 \end{bmatrix} \quad (1)$$

여기서

$$A = D = \cos \theta_a - \frac{1}{2} \omega C_L Z_a \sin \theta_a \quad (1a)$$

$$B = i Z_a \sin \theta_a \quad (1b)$$

$$C = j \left(\omega C_L \cos \theta_a + \frac{1}{Z_a} \sin \theta_a - \frac{1}{4} \omega^2 C_L^2 Z_a \sin \theta_a \right) \quad (1c)$$

이며, $\omega = 2\pi f$ 이다. 그리고 이들 A, B, C, D 파라미터는 $AD - BC = 1$ 의 가역성 조건을 만족한다.

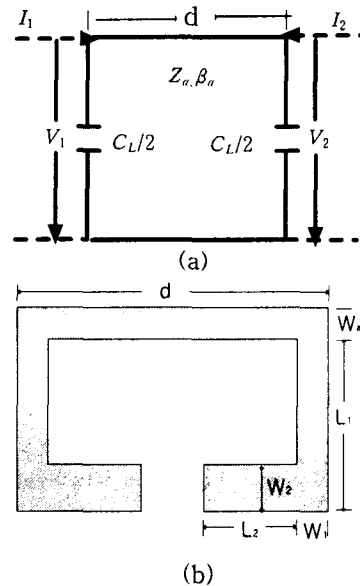


그림 1. (a) 용량성 부하 전송선로 공진기
(b) 개방루프 마이크로스트립 공진기
Fig. 1 (a) Capacitively loaded transmission line resonator
(b) a microstrip open-loop resonator on substrate

경계조건 $I_1 = I_2 = 0$ 를 만족하는 정재파가 구동된다고 가정하면, V_1 과 V_2 가 0이 아닌 경우에 다음의 조건이 만족된다.

$$\frac{C}{A} = \frac{I_1}{V_1} \Big|_{I_2=0} = \frac{I_2}{V_2} \Big|_{I_1=0} = 0 \quad (2)$$

$$A = \frac{V_1}{V_2} \Big|_{I_2=0} = -1 \text{ (기본 공진의 경우)} \quad (3)$$

1(제1 고조파 공진의 경우)

이므로 식(1a)로부터 다음의 식이 된다.

$$\cos \theta_{a0} - \frac{1}{2} \omega_0 C_L Z_a \sin \theta_{a0} = -1 \quad (4a)$$

$$\cos \theta_{a1} - \frac{1}{2} \omega_1 C_L Z_a \sin \theta_{a1} = 1 \quad (4b)$$

여기에서 아래첨자 0과 1은 기본 공진과 제1 고조파를 가리킨다. 식(1c)에서 C값을 0으로 놓고(식(2)이용), 여기에 식(4a)와 식(4b)를 대입하면

$$\frac{\omega_0 C_L}{2} (1 - \cos \theta_{a0}) = \frac{1}{Z_a} \sin \theta_{a0} \quad (5a)$$

$$\frac{\omega_1 C_L}{2} (1 + \cos \theta_{a1}) = -\frac{1}{Z_a} \sin \theta_{a1} \quad (5b)$$

이 된다.

식(3-5)로부터 θ_{a0} 와 θ_{a1} 은

$$\theta_{a0} = 2 \tan^{-1} \left(\frac{1}{\pi f_0 Z_a C_L} \right) \quad (6a)$$

$$\theta_{a1} = 2\pi - 2 \tan^{-1} (\pi f_1 Z_a C_L) \quad (6b)$$

이 된다.

이 식으로부터 기본 공진 주파수 f_0 와 제1 고조파 공진주파수 f_1 이 결정된다.

식(6a)와 식(6b)로부터 $C_L = 0$ 일 때, $\theta_{a0} = \pi$, $\theta_{a1} = 2\pi$ 라는 것이 명백해진다. 이것은 무부하 반파장 공진기에 대한 경우이다. $C_L \neq 0$ 인 경우 커패시턴스가 증가됨에 따라 공진 주파수는 낮아진다.

그림 1(b)는 1(a)의 등가회로에 근거한 마이크로스트립 개방루프 공진기의 구조를 나타낸 것이다. 개방스텝의 굵어진 팔 부분은 부하 커패시턴스를 증가시킬 뿐만 아니라 공진기간의 결합을 위한 것이다. 특히, 이러한 개방 루프 공진기는 $\lambda_{g0}/4 \times \lambda_{g0}/4$ 의 크기를 요구하므로 그 크기가 $2\lambda_{g0}/\pi \times \lambda_{g0}/\pi$ 인 링 공진기에 비하여 50% 이상 줄어든다[3].

개방루프 공진기를 이용한 여파기의 기본 결합 구조는 그림 2와 같다. 반파장 공진기의 개방단에서 전압이 최대가 되기 때문에 개방단 부근에서 전기적 결합(electric coupling)이 일어나고, 전류는 반파장 공진기의 중심에서 최대가 되기 때문에 공진기의 중심에서 자기적 결합(magnetic coupling)이 주로 발생한다. 따

라서, 그림 2(a)는 전기적 결합, 그림 2(b)는 자기적 결합을 나타낸다.

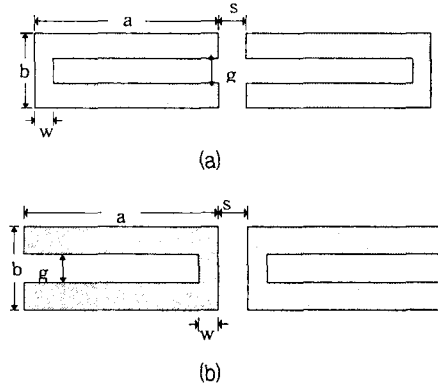


그림 2. 개방루프 마이크로스트립 공진기의 기본 결합구조 (a) 전기적 결합 (b) 자기적 결합

Fig. 2. Basic coupling structure of coupled microstrip open-loop resonators (a) electric coupling. (b) magnetic coupling.

그림 3은 2단 개방 루프 공진기에 결합선로와 교차선로를 가지는 형태의 여파기 구조를 나타낸 것이다.

이와 같은 여파기는 동일수의 공진기를 가진 링 공진기 여파기에 비해 크기를 50%정도 줄일 수 있다. 공진기와 공진기 사이 또는 공진기와 입·출력 선로간의 결합 방식으로 평행결합(edge coupling)과 종단결합(end coupling)이 있으며, 평행결합이 종단결합에 비해 결합계수를 크게 할 수 있는 이점이 있다. 그리고 또 다른 결합을 제공하는 교차선로는 통과대역 밖에 두 개의 노치(notch)를 제공하므로 우수한 차단특성을 가지는 협대역 타원함수 대역통과 특성을 가지게 된다[1].

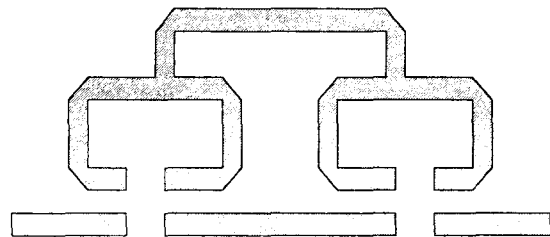


그림 3. 결합 및 교차 선로를 갖는 마이크로스트립 개방루프 공진기를 이용한 소형 협대역 타원함수 대역통과 여파기

Fig. 3 The novel compact elliptic narrow bandpass filter using open loop resonators together with coupled and crossing lines

이러한 여파기를 설계함에 있어서 적당한 결합 계수를 위한 결합선로의 간격과 원치 않는 결합을 방지하기 위해 다음과 같은 점을 고려한다.

- 1) 개방 루프 공진기의 길이는 중심 주파수에서 반파장에 근사하도록 정한다.
- 2) 각 개방 루프 공진기의 양끝은 원치 않는 종단결합이 일어나지 않도록 충분한 간격을 둔다.
- 3) 두 선로 끝 사이의 간격이 일정한 경우에는 입·출력 결합선로의 길이를 조정하여 동작 주파수 범위에서 충분한 결합이 되도록 한다.
- 4) 두 개방 루프 공진기간에 평행결합을 위해 보조 개방 스테브를 사용한다. 보조 개방 스테브와 공진기의 양끝이 평행 결합되는 부분을 가변하여 여파기 대역폭을 조정한다.
- 5) 보조 결합 스테브의 길이를 충분히 길게하여 두 개방 루프 공진기의 두 변이 서로 직접 결합되지 않도록 한다. 한편, 여파기 크기를 가급적 작게하기 위해서는 보조 결합 스테브의 길이는 짧아야 한다. 따라서 절충이 필요하다.

III. 설계 및 실험

마이크로스트립 개방 루프 공진기를 이용한 여파기 선로의 각 모서리는 불연속 구조로 인한 반사를 최소로 하기 위해 잘린 밴드(mitered bend)를 이용하였다. Ensemble 5.0을 이용하여 여파기의 특성을 계산한 결과 중심 주파수는 2.455GHz이고 삽입손실 3dB 이하, 반사손실 -10dB 이하인 대역폭은 그림 4와 같이 2.44 GHz - 2.475GHz이다. 제작된 여파기는 그림 5에 나타내었다.

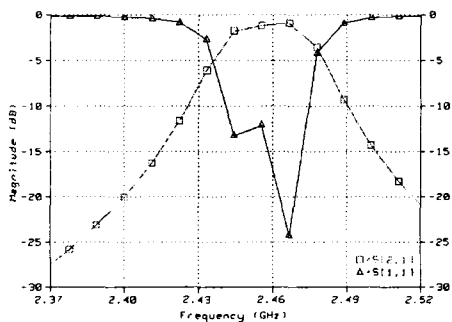


그림 4. 여파기 주파수 응답의 계산치
Fig. 4 Theoretical results of frequency response of the filter

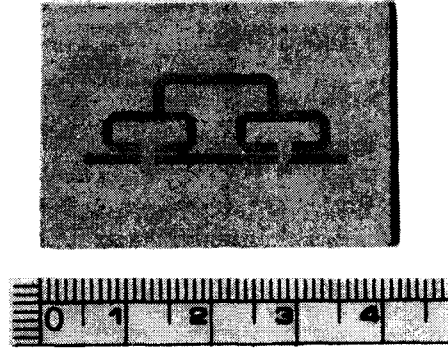


그림 5. 제작된 여파기 사진
Fig. 5 Photograph of the fabricated filter

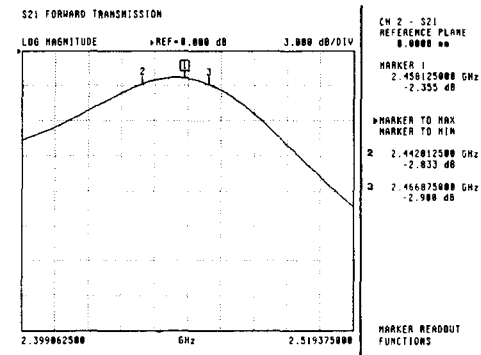


그림 6. 측정된 여파기의 삽입손실
Fig. 6 Measured insertion loss of the filter

벡터 회로망 해석기(Vector Network Analyzer, Anritsu 37369A)로 측정된 결과는 그림6과 같이 대역폭이 2.447GHz - 2.467GHz이고 측정된 삽입손실은 -2.3dB이며, 반사손실은 그림 7에서처럼 -18.3dB이다.

대역통과 여파기의 측정결과 여파기의 중심 주파수, 대역폭과 삽입손실에서 각각 오차가 발생하였다. 설계치의 중심 주파수 2.455GHz는 2.458GHz로 변화되었고, 대역폭은 1.22%에서 0.85%로 측정되었다. 삽입손실은 2.35dB로 나타났다. 여파기의 측정결과는 이론치와 거의 유사한 특성을 나타내었으나, 차단특성이 이론치 보다는 덜 우수하였다.

실험에서 나타난 여파기의 특성 오차는 여파기 제

작 과정에서 생기는 에칭오차와 마이크로스트립 선로의 방사손실이 주원인으로 생각된다.

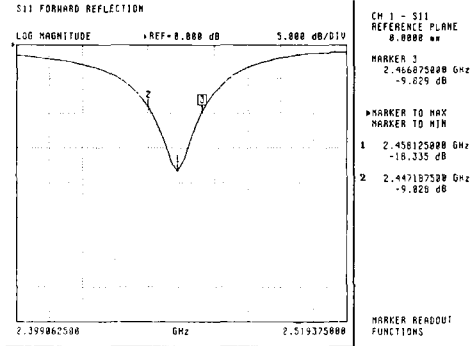


그림 7. 측정된 여파기의 반사손실
Fig. 7 Measured return loss of the filter

IV. 결론

본 논문에서는 교차 및 결합 선로를 갖는 마이크로스트립 개방 루프 공진기를 이용한 협대역 대역통과 여파기를 설계·제작하였다. 이 여파기는 무선 LAN에 사용이 가능하도록 중심주파수 2.455GHz에서 대역폭 1.22%가 되도록 설계하였으나, 중심 주파수 및 대역폭에서 약간의 변화가 발생하였다. 이것은 제작과정에서의 에칭오차에 기인한다고 생각한다.

개방루프 공진기를 이용한 여파기는 협대역 대역통과 특성을 가지며, 크기가 작고, 다양한 여파기의 구조를 만들 수 있다. 이 여파기에 결합선로와 교차선로를 추가함으로써 보다 우수한 차단특성을 갖는다. 이러한 특성은 마이크로파를 이용한 무선 LAN 뿐만 아니라 현대의 모든 이동 통신에 사용이 가능하다.

감사의 글

본 연구는 1994년도 경상대학교 연구장학재단(발전기금 장학재단)의 일부 지원에 의하여 이루어진 연구로서, 학교 당국에 감사 드립니다.

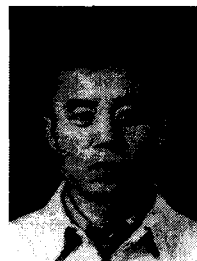
참고문헌

- [1] Cheng-Cheh Yu, Kai Chang "Novel Compact Elliptic-Function Narrow-Band Bandpass Filters Using Microstrip Open-Loop Resonators With Cupled and Crossing Lines" IEEE Trans. Microwave Theory Tech., Vol. 46, NO. 7. July 1998.
- [2] Jia Sheng Hong and Michel J. Lancaster, "Theory and Experimenta of Novel Microstrip Slow-Wave Open-Loop Resonator Filter" IEEE Trans Microwave Theory Tech., vol 45 No. 12 Dec 1997
- [3] Jia-Sheng Hong and Michel J. Lancaster, "Coupling of Microstrip Squire Open-Loop Resonators for Cross-Coupled Plannar Microwave Filters" IEEE Trans Microwave Theory Tech., vol 44 No. 12 Dec 1996



안승현(Seung-Hyun Ahn)
1994년 2월 전남대학교 전자공학과(공학사)
1997년 8월~2000년 12월 한국수자원공사
2000년 8월 경상대학교 대학원 전자공학과(공학석사)

2001년 1월~현재 광주 MBC 기술국 제작중
관심분야 : 마이크로파, 이동통신



이영구(Young-Goo Lee)
1984년 2월 한남대학교 물리학과 졸업(이학사)
1986년 8월 숭실대학 대학원 물리학과 졸업(이학석사)
1995년 3월~현재 경상대학교 대학원 전기전자공학과 박사과정

현재 동국산업(주) 신소재사업부 근무
관심분야 : 마이크로웨이브용 자성재료 및 수동소자, 페라이트 전파흡수체 설계 및 제작



이문수(Mun-Soo Lee)

1970년 2월 한국항공대학교
항공통신공학과(공학사)

1980년 2월 한양대학교 대학
원 전자통신공학과(공학석사)

1984년 8월 한양대학교 대학
원 전자통신공학과(공학박사)

1981년 3월~1986년 2월 제

주대학교 통신공학과 부교수

1986년 8월~1987년 8월 미국 COMSAT 연구소 연
구원

1986년3월~현재 경상대학교 공과대학 전자공학과
교수

1997년 9월~1999년 8월 경상대학교 부설 정보통신
연구센터 소장

1998년 8월~2000년 7월 영남 지부 전자파학회 지
부장

관심분야 : 이동통신, 마이크로파, 안테나 GIS 등