

# 임피던스 정합을 이용한 능동 인버터 대역 통과 여파기

## Active Inverter Bandpass Filter using Impedance Matching

이호준 · 박현창 · 박형무 · 이진구

H. J. Lee · H. C. Park · H. M. Park · J. K. Rhee

### 요 약

본 논문에서는 임피던스 정합 방법을 이용하여 IMT-2000 주파수 대역인 2.155 GHz 대역에 사용할 수 있는 능동 여파기를 설계 및 제작하였다. 임피던스 정합과 공진기를 구현하기 위하여 마이크로스트립 라인을 이용하였다. 능동 여파기의 측정결과 중심주파수 2.18 GHz에서 대역폭 75 MHz, 삽입 이득 14.1 dB, 중심주파수를 기준으로  $\pm 200$  MHz 떨어진 지점에서 23 dB의 감쇄 특성을 보였다.

### Abstract

In this paper, active inverter bandpass filters using the impedance matching method are designed and fabricated. The designed active inverter bandpass filter is fabricated using microstrip-lines matching networks for IMT-2000 applications. Measured results show that the two-pole inverter bandpass filter for IMT-2000 application has its insertion gain of 14.1 dB, 75 MHz bandwidth at the center frequency 2.18 GHz and more than 23 dB attenuation at  $f_0 \pm 200$  MHz.

Key words: active inverter, impedance matching, bandpass filter.

### I. 서 론

마이크로파 여파기는 일반적으로 크기가 상당히 큰 분포정수소자나 튜닝이 요구되는 집중소자로 구현된다. 실제 사용에 있어서, 이런 소자들에 의한 여파기는 크기가 매우 크거나 가격이 고가이다. 특히 집중소자에 있어서 2 GHz 이상의 경우에는 대부분 자기 공진 주파수의 한계로 인하여 정확한 수동 소자의 값을 얻기 힘들다. 따라서 2 GHz 이하의 주파수에서는 집중소자를 사용하고 2 GHz 이상의 주파수에서는 일반적으로 분포정수소자를 이용한다.

최근에 많은 연구가 진행되고 있는 능동 여파기

는 능동소자로 인한 삽입이득을 얻을 수 있어 시스템의 초단에 사용되는 수동 여파기대신 사용하면, 저 잡음 특성을 얻을 수 있을 뿐만 아니라 능동소자로 인해 높은 Q값을 얻을 수 있다. 능동 여파기의 설계방법으로는 대표적으로 능동 공진기를 이용한 방법<sup>[1]</sup>과 능동 인버터를 이용한 방법<sup>[2]</sup>이 있으며 이중 능동 인버터를 이용한 방법은 높은 삽입 이득과 저 잡음 특성을 얻을 수 있다. 본 논문에서는 능동 인버터와 함께 임피던스 정합 방법을 이용하여 능동 여파기를 설계 및 제작하였다. 임피던스 정합 방법은 능동 여파기 설계시 삽입손실 방법을 기초로 능동 여파기를 설계하기 때문에 기존의 방법에 비

「본 연구는 동국대학교 밀리미터파 신기술 연구센터(MINT)를 통한 한국과학재단의 우수연구센터(ERC) 지원금에 의하여 수행되었습니다.

동국대학교 밀리미터파 신기술 연구 센터(Millimeterwave INnovation Technology Research Center, Dongguk Univ.)

· 논문 번호 : 20010906-116

· 수정완료일자 : 2002년 1월 21일

해 구조가 간단하고 고주파 여파기 회로 설계 방법을 그대로 이용할 수 있는 이점이 있다. 여파기의 설계는 중심 주파수 2.155 GHz 대역에 사용할 수 있는 각각의 능동 여파기를 설계하고 제작하였다. 임피던스 정합과 공진기를 구현하기 위하여 IMT-2000 대역에서 마이크로스트립 라인을 이용하였다. 설계에 사용된 라이브러리는 능동 소자의 경우 HP 사의 ATF-36077를 사용하였고, 소자의 기본 바이어스 회로를 구성하여 측정할 후 다시 이 결과를 이용하여 설계하였다. 수동소자의 경우, HP 사의 ADS 에서 제공되는 Coilcraft사의 inductor, Murata사의 capacitor, Ohms사의 resistor 라이브러리를 이용하였다. 제작은 FR-4를 기판으로 사용하였으며, 사진 식각 공정을 이용하여 패턴을 형성한 후 최종적으로 능동 여파기를 제작하였다. 마지막으로 제작된 능동 여파기의 특성을 측정하고 결과를 분석하였다.

능동소자를 이용하여 인버터의 입, 출력 임피던스와 함께 변환시킴으로서 삽입이득도 동시에 얻을 수 있도록 설계되었다. 그림 1에 설계 과정을 나타내었다.

수동 여파기는 식 (1)을 이용하여 설계하였다<sup>[3]</sup>.

$$\begin{aligned}
 \text{비대역폭} : \Delta &= \frac{w_2 - w_1}{w_o} \\
 \text{중심주파수} : w_o &= \frac{w_1 + w_2}{2} \\
 \text{직렬공진부} : L &= \frac{g_n Z_o}{\Delta w_o} \\
 &C = \frac{\Delta}{w_o g_n Z_o} \\
 \text{병렬공진부} : L &= \frac{\Delta Z_o}{w_o g_n} \\
 &C = \frac{g_n}{\Delta w_o Z_o}
 \end{aligned} \tag{1}$$

## II. 능동 인버터 대역통과 여파기의 설계

본 논문에서 제안한 능동 인버터 대역통과 여파기는 우선 삽입손실 방법으로 수동 여파기를 설계한 후 인버터를 이용하여 수동 인버터 여파기로 변환하고,

여기서,  $g_n$ 은 저역 통과 원형필터의 소자값이고  $Z_o$ 는 특성 임피던스이다. 여파기는 중심주파수 2.155 GHz (IMT-2000\_ RX), 대역폭 90 MHz, 2-pole을 설계 목표로 설정하고 최대평탄함수를 사용하여 설계하였다. 그림 2에 수동 소자로 설계된

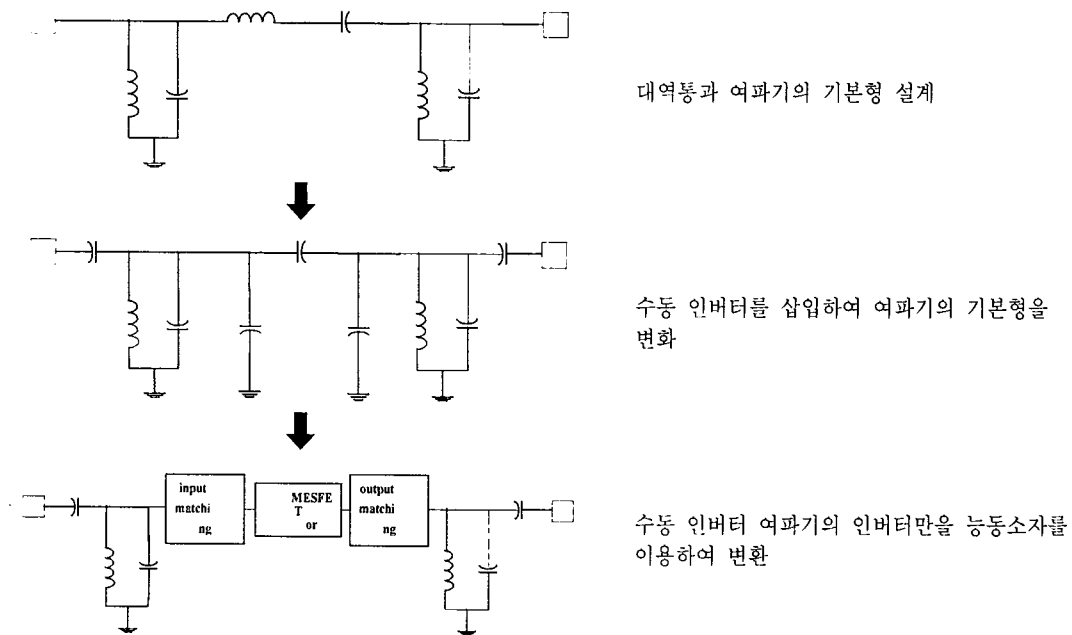


그림 1. 능동 인버터 대역통과 여파기의 설계 과정

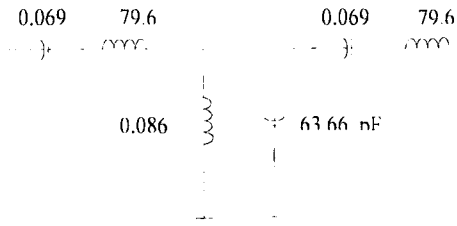


그림 2. 설계된 2-pole 수동 여파기 (IMT-2000\_RX)

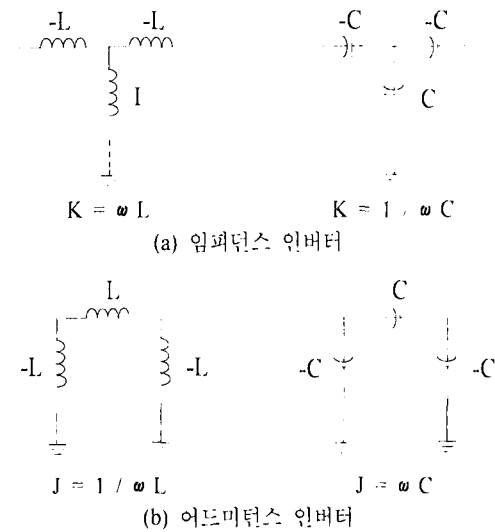


그림 3. 인버터의 집중소자 등가회로

여파기를 나타내었다.

이상적인 인버터는 모든 주파수에서 특성 어드미턴스가 상수이고, 이미지 위상차(image phase shift)가 90° 인 회로이다. 인버터는 λ/4 변환기와 동일한 특성을 갖는다. 인버터를 사용하였을 경우 직렬 공진회로와 병렬 공진회로를 모두 포함하고 있는 회로에서 하나의 공진회로만으로 회로를 구성할 수 있다. 즉, 임피던스 인버터(K)를 사용하여 직렬 공진회로만으로 구성된 회로를 만들 수 있고, 어드미턴스 인버터(J)를 사용하여 병렬공진회로만으로 구성된 회로를 만들 수 있다. K, J 인버터 값은 수식 (2), (3)과 그림 3으로부터 구할 수 있다<sup>14)</sup>. 공진기 설계시 집중소자 설계방식은 일반적으로 2 GHz 이하의 주파수에서는 구현하기 용이하지만 2 GHz 이상의 주파수에서는 자기공진과 기생성분의 한계로 인하여 정확한 값을 얻을 수 없다.

본 논문에서는 IMT-2000 대역에서 설계된 수동 인버터 여파기의 공진기 부분을 마이크로스트립 공진기로 변환하여 설계하였다. 마이크로스트립 공진기의 경우 길이가 λ/2에서 공진을 한다는 점을 고려하였고, 집중소자로 구성된 공진기의 파장을 계산하여 절반 크기인 31 mm를 선택하였다. 마이크로스트립 공진기의 폭은 크게 하면 할수록 cut-off 특성이 좋아진다는 점을 고려하여 40 mm의 길이를 선택하였다. 그림 4에 설계된 수동 인버터 여파기를 나타내었다.

[임피던스 인버터]

$$\begin{aligned} \text{첫단 } K_{01} &= \sqrt{\frac{Z_0 x_1 \Delta}{g_0 g_1}} \\ \text{중간단 } K_{n,n+1} &= \Delta \sqrt{\frac{x_i x_{i+1}}{g_i g_{i+1}}} \\ \text{끝단 } K_{n,n+1} &= \sqrt{\frac{Z_0 x_n \Delta}{g_n g_{n+1}}} \\ \text{리액턴스 } x_i &= \omega L = \frac{1}{\omega C} \end{aligned} \quad (2)$$

[어드미턴스 인버터]

$$\begin{aligned} \text{첫단 } J_{01} &= \sqrt{\frac{Y_0 b_1 \Delta}{g_0 g_1}} \\ \text{중간단 } J_{n,n+1} &= \Delta \sqrt{\frac{b_i b_{i+1}}{g_i g_{i+1}}} \\ \text{끝단 } J_{n,n+1} &= \sqrt{\frac{Y_0 b_n \Delta}{g_n g_{n+1}}} \\ \text{서셉턴스 } b_i &= \omega C = \frac{1}{\omega L} \end{aligned} \quad (3)$$

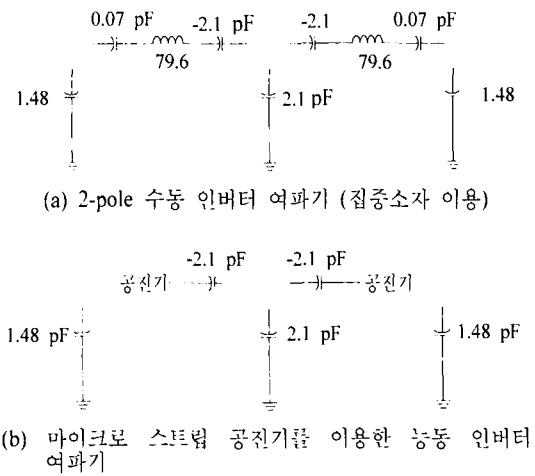


그림 4. 수동 인버터 여파기

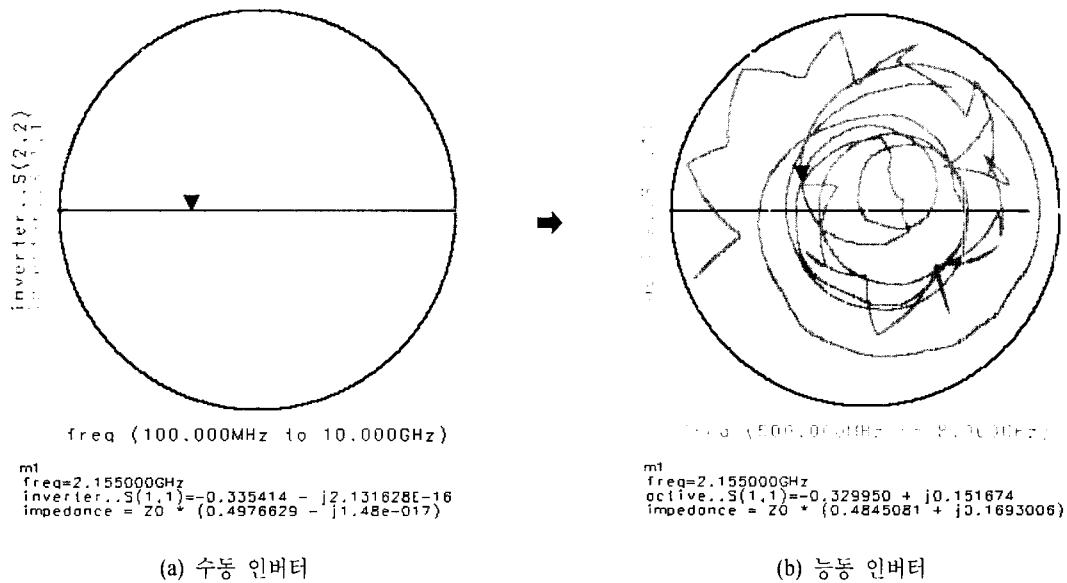


그림 5. 수동 인버터에서 능동 인버터로의 변환 (ATF-36077)

수동 인버터에서 능동 인버터로의 변환은 다음과 같다. 첫번째, 수동 인버터 여파기에서 수동 인버터 부분만을 설계하여 입·출력 임피던스 값을 얻어낸다. 두번째, 산출된 입·출력 임피던스값에 능동소자의 입·출력 임피던스를 정합시키면 수동 여파기에서 능동 여파기로의 변환이 완료된다. 본 논문에서 사용한 능동 소자로는 HP사의 ATF-36077을 사용하였다. 능동 소자를 사용하기 위하여 능동 소자를 안정화하여 수동 인버터와 같게 입, 출력 정합하였다. 공진기의 폭은 40 mm, 길이는 31 mm로 설계되었다. 수동 인버터에서 능동 인버터로의 변환 전후의 임피던스 값을 시뮬레이션하여 그림 5에 나타내었다. 설계된 능동 인버터 대역통과 여파기의 회로도를 그림 6에 나타내었으며 시뮬레이션결과 2.15 GHz에서 16.7 dB의 삽입이득을 얻었다. 그림 7에 능동인버터의 시뮬레이션 결과를 나타내었다.

능동 대역 통과 여파기의 제작은 마스크를 설계한 다음 FR-4 기판에 사진식각 공정을 사용하여 패턴을 제작 후 패턴 위에서 능동소자와 수동소자를 마운트하여 제작하였다<sup>[5]</sup>. 제작된 능동 여파기의 전체 크기는 11.9 × 7.9 × 1.7 cm이며 그림 8에 실물 사진을 나타내었다.

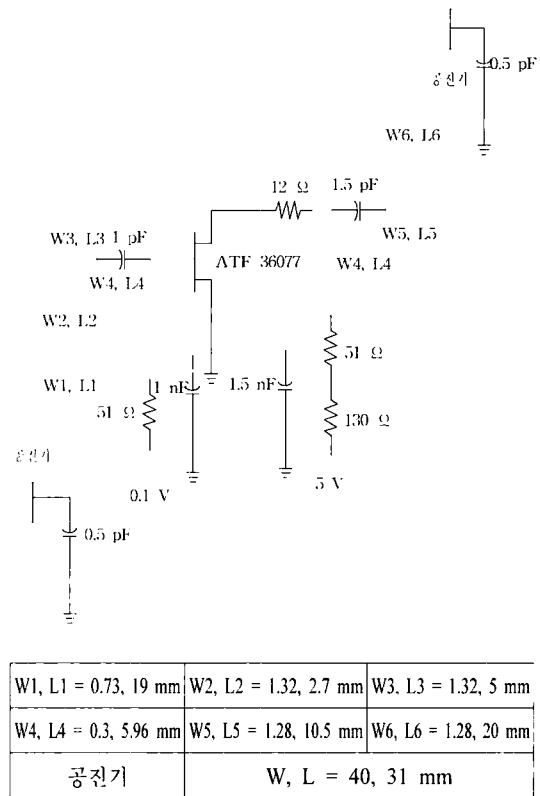


그림 6. 능동 인버터 대역 통과 여파기의 회로도

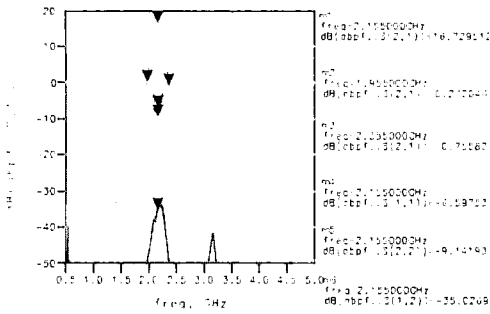


그림 7. 능동 인버터 대역 통과 여파기의 시뮬레이션 결과

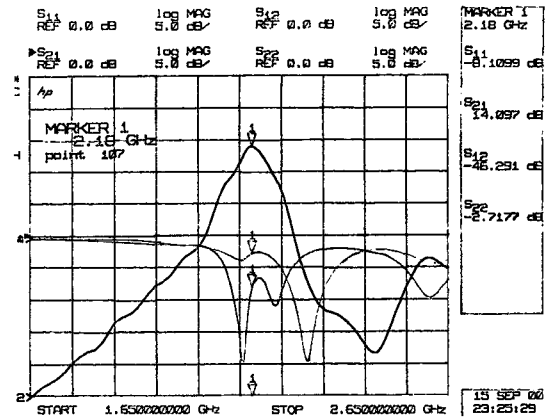


그림 9. 능동 여파기의 소신호 특성 측정 결과

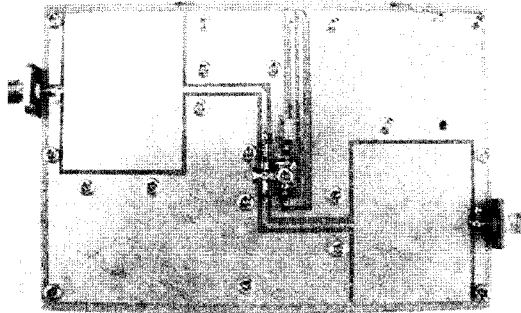


그림 8. 제작된 능동 인버터 대역 통과 여파기의 실물도

능동 여파기의 측정결과 중심주파수 2.18 GHz, 대역폭 75 MHz, 삽입이득 14.1 dB, 중심주파수를 기준으로 200 MHz 떨어진 지점에서 23 dB의 감쇄를 보였다. 그림 9에 측정결과를 나타내었다.

### Ⅲ. 결 론

본 논문에서는 임피던스 정합을 이용하여 IMT-2000 대역에서 능동인버터 여파기를 설계 및 제작하였다. 능동 여파기 설계시 삽입손실 방법을 기초로 능동 여파기를 설계하였기 때문에 기존의 고주파 여파기 회로 설계 방법을 그대로 이용할 수 있는 이점이 있다. 중심주파수를 조정하기 위하여 마이크로 스트립 공진기의 경우 마이크로 스트립 라인의 길이를 조정하였다. 또한 능동소자를 이용하여 높은 삽입이득과 저지 대역 감쇄특성을 얻게 하였다. 설

계된 능동 여파기는 유전율 4.7, 유전체 두께 0.74 mm인 FR-4 기판을 사용하여 제작하였으며, 능동 여파기의 측정 결과는 중심주파수 2.18 GHz에서 대역폭 75 MHz, 삽입 이득 14.1 dB, 중심주파수를 기준으로  $\pm 200$  MHz 떨어진 지점에서 23 dB의 감쇄를 보였다. 본 논문에서 설계 및 제작된 능동 여파기는 이득 특성이 양호하여 IMT-2000 중계기 시스템에 응용될 수 있을 것으로 판단되며, 마이크로 스트립라인만으로 구성한 결과 면적이 상당히 커지는 단점이 있으므로 향후 유전율이 높은 기판을 사용하거나 유전체 공진기를 적용하는 연구가 필요한 것으로 판단된다.

### 참 고 문 헌

- [1] C. Y. Chang and T. Itoh, "Microwave Active Filters Based on Coupled Negative Resistance Method", *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. MTT-38, no. 9, pp. 1879-1884, Sep. 1990.
- [2] 전영훈, 윤상원 "능동 임피던스 인버터를 이용한 RF 능동 대역 통과 여파기의 설계"; 전자파학회 논문지 제10권 제5호, pp. 672-679, 1999.
- [3] David M. Pozar, *Microwave Engineering*, pp. 457~462, 1998.
- [4] G. L. Matthaei, L. Young, E. M. T. Jones, *Microwave Filters, Impedance-Matching Net-*

works, and Coupling Structures, Mc-Graw Hill, pp. 427-438, 1964.

[5] 윤상훈, 김상명, 윤관기, 이일형, 신석현, 이진구, "1W 출력을 갖는 C-band용 선형 증폭기에

관한 연구," 1993년도 대한전자공학회 추계 종합학술대회 논문집, 제16권, 제2호, pp. 474-477, 1993. 11.

### 이 호 준

1999년: 한경대학교 전자공학과 (공학사)  
2001년: 동국대학교 전자공학과 (공학석사)  
2001년~현재: (주)마이크로통신 연구원

### 박 형 무



1978년: 서울대학교 전자공학과 (공학사)  
1980년: 한국과학기술원(KAIST) 전자공학과 (공학석사)  
1984년: 한국과학기술원(KAIST) 전자공학과 (공학박사)  
1999년~현재: 동국대학교 전자공

학과 부교수

### 박 현 창



1992년~1995년: University of Virginia 연구원  
1986년: 서울대학교 전자공학과 (공학사)  
1989년: Cornell University 전자공학과 (공학석사)  
1993년: Cornell University 전자공

학과 (공학박사)

1995년~현재: 동국대학교 전자공학과 부교수

### 이 진 구



1969년: 국립항공대학교 전자공학과 (공학사)  
1975년: 서울대학교 전자공학과 (공학석사)  
1982년: Oregon State University 전기공학과 (공학박사)  
1985년: Cray Research, USA,

Research Scientist

1985년: Microwave Semiconductors, USA, Senior Engineer

1990년~1991년: University of Michigan, Visiting Research Scientist

1995년~현재: 한국 전자과학회 이사

1996년~현재: 한국산업인력관리공단, 기술사 검정 심의 위원

2002년~현재: 대한전자공학회 부회장

1985년~현재: 동국대학교 공과대학 전자공학과 교수

1999년~현재: 밀리미터파 신기술 연구센터 소장