

짧은 길이 전송선로를 가지는 Hi-Z Low-Z에 의한 마이크로스트립 필터

이 봉 수* 이 사 원**

Microstrip Filter by Means of Hi-Z Low-Z Having Short Length Transmission Lines

Bong-Soo Lee* Sa-Won Lee**

요 약

본 논문에서는 마이크로스트립 선로로 제작이 쉽고, 스텐드를 사용한 필터보다 적은 공간을 차지하는 Hi-Z, Low-Z 필터를 사용하여 마이크로스트립 필터를 설계·제작하였다. 이 필터는 선로의 전기적 길이가 매우 짧은 경우, 즉, $\beta l < \pi/4$ 의 조건에서, 저역통과 기본형의 직렬 인덕터일 때 고 임피던스 선로부로 병렬 커패시터를 저 임피던스 선로부로 대체할 수 있다. 이렇게 대체된 각 단을 마이크로스트립 선로로 설계하기 위해 주어진 마이크로스트립의 실효 유전율을 구해서 각 단의 폭과 길이를 계산하고 필터 설계에 사용하였다. 또한, 설계된 필터를 Touchstone의 이론치와 제작된 필터의 실험치를 비교하여 응답특성을 분석하였다.

Abstract

In this paper, filter designed and produced to use hi-Z low-Z filter which is easy to produce microstrip line and uses space less than used stub filter. This filter has very short electrical length of lines, that is $\beta l < \pi/4$, lowpass prototype series inductor replaced high impedance line section and shunt capacitance replaced low impedance line section. Replaced each section designed microstrip lines and effective permittivity of the given microstrip calculated and each section width and length calculated dna filter used design. Designed filter compared the theory value of touchstone with the experiment value of real produced filter and an analyzed response charictristic.

* 대원공과대학 전자통신과 겸임교수

** 청주대학교 대학원 전자공학과 박사과정
논문접수: 98.8.30. 심사완료: 98.10.27.

I. 서론

유전체위에 도체가 인쇄된 형태인 마이크로스트립은 수동소자이면서 능동소자와 잘 접속되고 제작할 수 있기 때문에 MIC 설계에 널리 사용되고 있다[1]. 초고주파 필터를 마이크로스트립으로 쉽게 제작할 수 있는 쉬운 방법으로는 고 임피던스 선로부와 저 임피던스 선로부를 교대로 사용하는 hi-Z low-Z 필터이다[2]. 이 필터는 전송선로의 전기적 길이가 $\beta l < \pi/4$ 인 경우,

즉, 매우 짧은 길이의 선로인 경우 등가적으로 저역통과 기본형의 직렬 인덕터를 고 임피던스 선로로 병렬 커패시터를 저 임피던스 선로로 대체 할 수 있다. 이렇게 설계된 필터는 스텝를 사용하는 필터보다 적은 공간을 차지하는 장점을 가지고 있고, 차단 특성이 급격하지 않는 곳에 적용할 수 있다.

본 논문에서는 통과 대역의 특성에 따라 butterworth와 0.5dB 리플을 갖는 chebyshev 두 가지로 필터를 설계하였으며, 각각의 차수는 6차와 5차로 했다. 저역통과 기본형의 소자값과 주어진 고·저 임피던스에 의해 마이크로스트립 필터의 폭과 길이를 계산하고 계산된 결과를 이용하여 마이크로스트립 기판을 사용하여 쉽게 필터를 구현할 수 있었다[3]. 제작 과정에서 결함에 의한 오차를 줄이기 위해 필터의 양끝단에 특성 임피던스가 50Ω인 선로를 접속하였다. 설계된 필터는 차단 주파수에 butterworth 형이 -2.697dB이고 chebyshev 형이 -0.423dB을 나타냈고, butterworth형보다 chebyshev 형이 보다 예리한 차단 특성을 나타나는 것을 알수 있었다. 설계된 필터를 Touchstone를 이용한 이론치와 제작된 필터의 측정치의 응답 특성을 분석하였다.

II. 필터 설계

초고주파에서는 집중소자의 크기가 작아지므로 취

급하기 어렵고 전파복사와 소자 안에서 발생하는 손실에 의해 이상적 특성을 상실한다. 이런 이유로 짧은 전송선로의 선로를 사용하여 등가적으로 집중소자를 나타내야 한다.

이제 $\beta l < \pi/2$ 인 경우 짧은 전송선로부의 T형 등가회로는 그림 1과 같이 나타낼 수 있고, 전송선로가 무손실($\gamma = j\beta$)라고 가정하면, 전송 선로의 ABCD 파라미터와 Z 파라미터의 정의에 의해 T형 등가회로의 직·병렬소자는

$$X_L = 2Z_o \tan\left(\frac{\beta l}{2}\right) \quad (1a)$$

$$X_C = \frac{1}{B} = \frac{Z_o}{\sin(\beta l)} \quad (1b)$$

로 주어지고, 직렬 소자는 정(+) 리액턴스 즉, 인덕터가 되고 병렬 소자는 부(-) 리액턴스 즉, 커패시터가 된다.

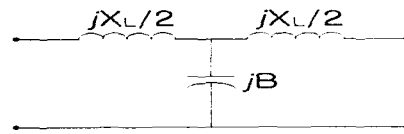


그림 1. $\beta l < \pi/2$ 인 전송 선로부의 T형 등가회로
Fig. 1. T equivalent circuit for a transmission line section having $\beta l < \pi/2$

따라서 전송선로의 길이가 짧으면 즉, $\beta l < \pi/4$ 이면, 그림 1의 T형 등가회로의 소자들은 근사적으로 식(1)로부터 다음과 같이 주어진다.

$$X_L = \omega L \cong Z_o \beta l \quad (2a)$$

$$B = \omega C \cong Y_o \beta l \quad (2b)$$

이제 만약 짧은 길이의 선로와 큰 특성 임피던스에 대해 식(2)는

$$\begin{aligned} X &\cong Z_o \beta l \\ B &\cong 0 \end{aligned} \quad (3)$$

이 되고, 이것은 그림 2(a)의 직렬 인덕터를 나타낸다. 또한 짧은 길이 선로와 작은 임피던스에 대해

식(2)는

$$\begin{aligned} X &\cong 0 \\ B &\cong Y_o\beta l \end{aligned} \quad (4)$$

로 되며, 이것은 그림 2(b)의 병렬 커패시터를 의미한다. 그러므로, Z_o 가 크고 $\beta l < \pi/4$ 이면, $X_L = Z_o\beta l$, Z_o 가 작고 $\beta l < \pi/4$ 이면 $B_c = Y_o\beta l$ 로 대체된다. 따라서, 저역통과 기본형의 직렬 인덕터들은 고 임피던스 선로부($Z_o = Z_h$)로 대체될 수 있으며, 병렬 커패시터들은 저 임피던스 선로부($Z_o = Z_l$)로 대체할 수 있다. 그리고 Z_h/Z_l 의 비는 가능한 커야 하고 보통 실제로 제조할 수 있는 임피던스의 값을 선택한다. 여기서는 $Z_h = 150\Omega$, $Z_l = 10\Omega$ 을 사용하였다. 선로의 길이 l 은 차단 주파수 근처에서의 응답이 최적이 되도록 식(5)에서 결정한다.

$$l_L = \frac{LR_o}{\beta Z_h} \quad (5a)$$

$$l_c = \frac{CZ_l}{\beta R_o} \quad (5b)$$

여기서 R_o 는 필터 임피던스, L , C 는 기본형의 정규화 소자값, Z_l 는 저 임피던스, Z_h 는 고 임피던스이다.

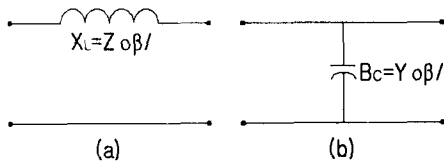


그림 2. 짧은 전송 선로부에 대한 등가회로 (a) 작은 βl 과 큰 Z_o 에 대한 등가회로 (b) 작은 βl 과 작은 Z_o 에 대한 등가회로
Fig. 2. Equivalent circuit for short sections of transmission lines (a) Equivalent circuit for small βl and large Z_o (b) Equivalent circuit for small βl and large Z_o .

III. 필터 제작

위의 결과를 사용한 필터 설계 과정은 그림 3과 같다. 최종적인 마이크로스트립 필터를 그림 4에 보였다. 설계된 필터의 특성을 표 1에 나타내었다. 필터의 제작에 사용된 기판은 유전율이 3.78이고 두께 0.381의 구리동판을 사용하였다. 필터는 차단 주파수가 2.5GHz이며, 6GHz에서 30dB 이상의 감쇄가 요구된다. 따라서 정의된 저역통과 기본형을 식(3)과 식(4)을 적용해서 직렬 인덕터를 고 임피던스 선로부로 병렬 커패시터를 저 임피던스 선로부로 대체한 후에 고 임피던스와 저 임피던스 전송선로부의 길이를 식(5)을 사용하여 인덕터부의 전기적 길이와 커패시터부의 전기적 길이를 구했다. 모든 경우에서 $\beta l < \pi/4$ 의 조건을 사용하였다. 마이크로스트립 기판으로 설계하기 위해 각 단의 폭과 길이는 각 선로의 특성 임피던스가 주어졌을 때, 마이크로스트립 선로의 실효 유전율 ϵ_e 을 구해서 길이와 폭을 구했다[3].

IV. 실험 결과 및 고찰

각 필터의 측정 결과를 그림 5와 그림 6에 나타내었다. 각 필터는 hi-Z, low-Z를 사용해 제작되었고, 집중소자를 이용한 필터와 비교하였다. 설계된 필터를 Touchstone를 이용한 이론치와 제작된 필터를 Network Analyzer를 이용한 측정치의 주파수 응답특성을 비교 분석하였다. 그림 5의 butterworth 필터는 차단 주파수에서 -2.697dB의 감쇄를 가졌고, 6GHz에서 -38.684dB의 감쇄를 나타내었다. 그림 6의 Chebyshev 필터의 경우 차단 주파수에서 -0.423dB이었고, 6GHz에서 -44.219dB를 나타내었다. 또 집중소자로 구성된 필터와 비교하면 통과대역특성은 비슷하

지만 집중소자로 설계된 필터는 높은 주파수에서 더 많은 감쇠가 일어난다. 약 2dB 정도의 차이를 나타냈는데, 이것은 높은 주파수에서 hi-Z, low-Z 필터의 소자들이 주파수가 높아짐에 따라 집중소자값과 크게 차이가 나기 때문이고, 더 높은 주파수에서 다른 통과대역 특성을 가질수 있으나 구성선로가 동일하지 않아 완전한 주기성을 가질 수 없다. 또한 chebyshev 필터의 경우 통과대역에서 0.2dB 정도의 차이가 나타났고, butterworth보다 더 급격한 차단특성을 나타내는 것을 알 수 있었다. 이론에 의한 특성과 제작된 필터 사이의 특성의 근소한 차이는 마이크로스트립 선로의 폭과 길이의 계산시 근사식을 사용한 때문으로 생각되며, 또한 각 선로의 접합부에서의 정합이 불안정한 이유 때문으로 사료된다.

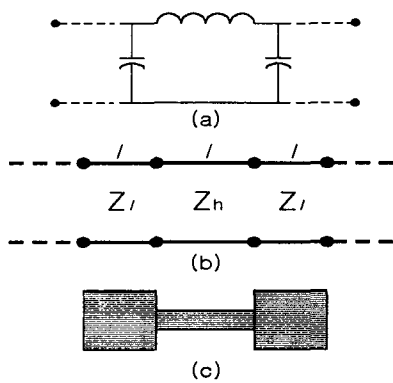


그림 3. 필터 설계 (a) 저역통과 기본형 회로 (b) hi-Z, low-Z 구현 (c) 최종 마이크로스트립 설계도
 Fig. 3. filter design (a) lowpass prototype filter (b) hi-Z, low-Z implementation (c) Microstrip layout of final filter

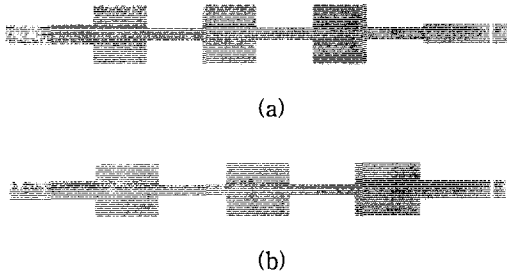
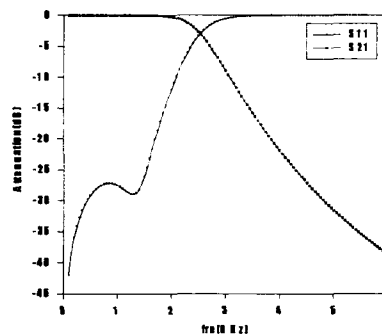


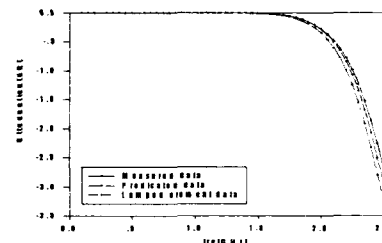
그림 4. 설계된 마이크로스트립 필터의 구조 (a) 버터워드 형 (b) 체비셰프 형
 Fig 4. Structure of designed microstrip filter (a) Butterworth type (b) Chebyshev type

표. 1. 설계된 필터의 특성
 Table. 1. Characteristic of designed filter

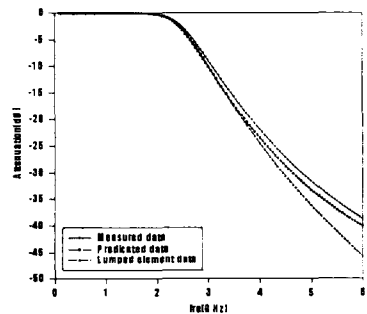
필터	차수	차단 주파수 (GHz)	특성	감쇄
Butterworth	6	2.5	maximally flat	-38.684
Chebyshev	5	2.5	0.5dB-ripple	-44.219



(a)



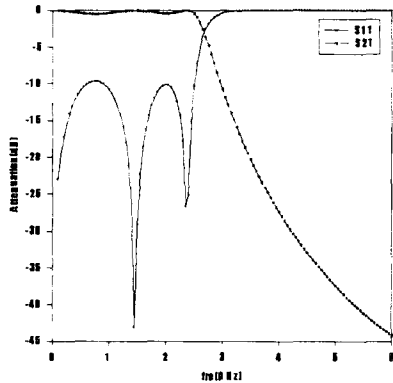
(b)



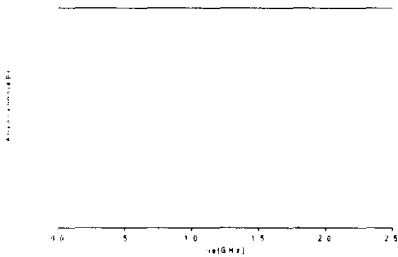
(c)

그림. 5. 마이크로스트립 버터워드 필터 특성 (a) 측정된 필터 응답 (b) 통과대역 응답 (c) 집중소자와 비교한 설계된 필터 응답

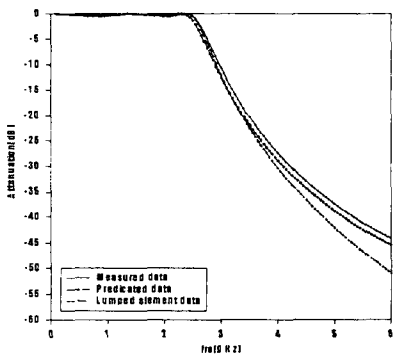
Fig. 6. Microstrip butterworth filter (a) Measured filter response (b) Passband response (c) Response of designed filter compared with corresponding lumped-element design



(a)



(b)



(c)

그림. 6. 마이크로스트립 체비셰프 필터 (a) 측정된 필터 응답

(b) 통과대역 응답 (c) 집중소자와 비교한 설계된 필터 응답
Fig. 6. Microstrip chebyshev filter (a) Measured filter response (b) Passband response (c) Response of designed filter compared with corresponding lumped-element design

V. 결론

$\beta l < \pi/4$ 일 때 저역통과 기본형의 직렬 인덕터를 고 임피던스로 병렬 커패시터를 저 임피던스로 변환해서 마이크로스트립 필터를 설계하고 그 특성을 비교하였다. 비 유전율 ϵ_r 이 3.78이고, 두께 h 가 0.381[mm]인 마이크로스트립의 실효 유전율을 구해 각 단의 폭과 길이를 구해 제작에 사용하였다. 제작 과정에서 필터 양끝 단에 $\lambda/4$, 50Ω 인 선로를 접속하여 각 단의 오차를 줄일 수 있었다.

결과로, Butterworth 필터보다 Chebyshev 필터가 보다 예리한 차단 특성을 나타내었고, 통과대역에서 제작된 필터와 0.2dB의 차이가 나는 것은 제작상의 오차라 생각된다.

VI. 참고 문헌

- [1] David M. Pozar, "Microwave Engineering", Addison-Wesley, Massachusetts, 1990
- [2] G. L. Matthaei, L. Young and E.M. T. Jones, "Microwave Filters, Impedance-Matching Networks and Coupling Structures", Artec house, Dedham, Mass., 1980
- [3] Brian C. Wadell, Transmission line Design Handook, Artech House, Inc. pp.93-95, 1991

- [4] VINCENT F. Fusco, Microwave Circuits-
Analysi s and computer-Aided Design,
Prentice-Hall International, pp.251-304.
1987
- [5] L. A. TRINOGGA, GUO KAIZHOU, I. C.
HUNTER, Practical Microstrip Circuit
Design, Ellis Horwood Limited, pp.
158-197. 1991

서 자 소개



이봉수

- 1994년 청주대학교 전자공학과
(공학사)
- 1996년 청주대학교 대학원 전자
공학과(공학석사)
- 1997년 - 현재 청주대학교 대학
원 전자공학과 박사과정
- 1997년 - 현재 에스앤에스 테크
놀러지 반도체 기술연구
소 주임연구원
- 1997년 - 현재 대원공과대학 겸
임교수



이사원

- 1994년 청주대학교 전자공학과
(공학사)
- 1997년 청주대학교 대학원 전자
공학과(공학석사)
- 1997년 - 현재 청주대학교 대학
원 전자공학과 박사과정