

論文98-35T-12-5

5.8GHz 무선 LAN용 영상제거 인터디지털 필터 설계에 관한 연구

(A Study on the Design of Image Rejection Interdigital-Filter(IRIF) for 5.8GHz Wireless LAN)

劉 載 文 * , 姜 廷 震 ** , 安 正 植 ***

(Jae-Moon Yoo, Jeong-Jin Kang, and Jeong-Sig An)

요 약

본 논문은 5.8GHz 무선 LAN용 영상 제거 인터디지털 필터를 설계하고 실험하였다. 4~8GHz 주파수 대역에서 -30dBm의 입력 신호를 인가하여 중심주파수 5.775GHz 근처에서 6.3dB의 삽입손실이 발생하는데, 이때 RF 케이블 손실, 복사 손실, 각종 기생성분에 의한 손실 등을 제외하고 약 -3.3dB 정도의 삽입손실이 나타남을 알 수 있다. 특히, 영상주파수 6.475GHz에서 영상 신호 제거는 -17dB 정도이고, 고주파 대역의 스킷특성이 우수하므로, RF 영상신호 제거에 적합한 필터의 특성이 나타남을 확인하였다.

Abstract

In this paper, Image Rejection Interdigital Filter(IRIF) for 5.8GHz wireless LAN was designed and implemented. When the input signal is -30dBm in the 4~8GHz frequency band, the insertion loss including all kinds of loss is 6.3dB in the center frequency 5.775GHz. Therefore, it was showed practically insertion loss of about -3.3dB. Especially, image signal rejection is about -17dB in the image frequency 6.475GHz, and skirt characteristics of the high frequency band is very excellent. Therefore, it was confirmed that the proposed IRIF is suitable for RF image signal rejection in the 5.8GHz wireless LAN system.

I. 서 론

국내에서의 무선 LAN 수신 시스템에 대한 연구는 전파신호를 제한하는 규정 때문에 2.4GHz대의 주파수를 사용하는 2Mbps급 무선 LAN 만을 구축할 수 있

* 正會員, 동서울大學 電子科

(Dept. of Electronics Dong Seoul College)

** 正會員, 동서울大學 電子通信科

(Dept. of Electronic Communication Dong Seoul College)

*** 正會員, 建國大學校 電子工學科

(Dept. of Electronics Kon Kuk University)

接受日字: 1998年8月31日, 수정완료일: 1998年12月9日

었으나, 1997년 9월 11월 정보통신부에서 5.8GHz대 전파 사용을 허가하기 위한 전파시행령 개정에 따라 5.8GHz대 무선 LAN을 개발하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. 본 연구에서 설계·제작한 5.8GHz 무선 LAN용 인터디지털 필터(Image Rejection Interdigital Filter; 이하 IRIF라 표기)는 RF의 영상(image)신호를 제거하기 위한 것으로 마이크로스트립 판에 그대로 프린트할 수 있으므로 구조가 간단하고 제작이 용이하며 비용을 줄일 수 있는 장점을 가지고 있다. 또한, 이 필터는 삽입 손실이 작고 스킷 특성이 우수하며 중심주파수의 3배에서 두 번째 통과대역이 나타나기 때문에 강한 저지대역 특성을 갖고, 본 논문에서는 Supercompact 프로그램을 사용하여 회로의 설계 및 시뮬레이션을 하였다.

II. 기본이론

본 논문에서는 평행한 접지면 사이에 인터디지털 공진기를 배열한 대역통과 필터를 설계하였고 이 구조는 집중소자 저역통과 프로토타입 필터로부터 직접 설계할 수 있다.

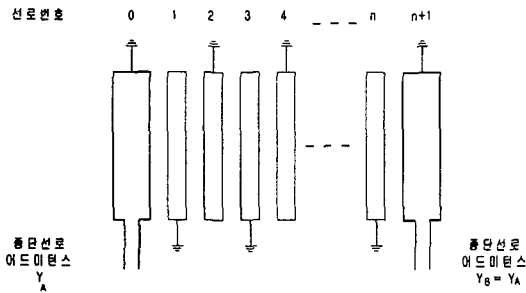


그림 1. 인터디지털 필터의 구조
Fig. 1. Structure of the interdigital filter.

인터디지털 필터의 구조는 그림 1과 같이, 중심주파수에서 $\frac{\lambda}{4}$ 길이를 갖는 평행한 마이크로스트립선 공진기로 구성하고, 각 공진기의 한 쪽 끝은 비아홀을 이용하여 접지시키고 맞은 편은 개방상태를 유지하도록 하였다. 공진기 사이의 결합(coupling)은 인접한 소자 사이에서 누설되는 필드에 의하여 이루어지고, 이 구조에서 각 평행 선로는 공진기, 종단에 있는 두 선로는 입력·출력 임피던스 정합을 위해 사용하였다.^[1-7] 여기서 회로설계는 근사식을 이용하여 설계한 Supercompact을 이용하여 시뮬레이션하였다.

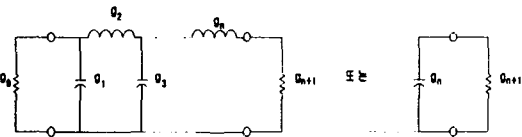
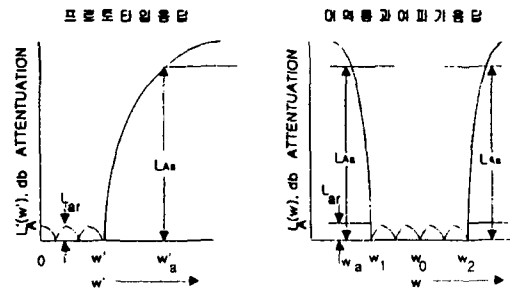


그림 2. 프로토타입 필터 파라미터 정의
Fig. 2. Definition of the prototype filter parameters.

그림 2는 집중소자로 된 저역통과 필터이고, 이때 저역통과 필터로부터 대역통과 필터로 변형시키려면 프로토타입에서 특정 소자값 g_k 을 결정한다. 그림 3(a)는 이런 형태의 필터로 얻어지는 전형적인 체비셰프 응답을 보여주고 있으며, 이 응답을 갖는 프로토타입 필터의 소자 값을 쉽게 얻을 수 있다. 이때 n은 리

액티브 소자의 갯수를 나타내고, 특정소자값은 g_0 에서 g_{n+1} 의 값을 갖는다.

그림 3(b)는 주어진 저역통과 프로토타입 응답에 따르는 대역통과 필터의 응답을 보여주고 있다. 대역통과 필터의 통과 대역은 임의로 조절할 수 있으며, 필터의 응답은 대칭적으로 나타남을 볼 수 있다. 그림 3(a, b)의 아래에는 저역통과 프로토타입 필터를 대역통과 필터로 변화시켜주는 식을 나타냈으며, 이 식으로부터 w' 의 함수인 저역통과 프로토타입 특성이 대역통과 필터 각 주파수 변수 w 의 함수인 대역통과 필터 감쇄 특성으로 변환된다.



$$L_b(w) = L_p(w') \text{ dB}$$

$$w_0 = \frac{w_2 + w_1}{2}$$

where

$$w = \frac{2w'}{w} \left| \frac{w - w_0}{w_0} \right| \quad \text{and} \quad w = \frac{w_2 - w_1}{w_0}$$

(a) (b)

그림 3. 저역통과 필터와 대역통과 필터의 관계
Fig. 3. Relation of the low pass and band pass filters.

인터디지털 필터는 접지면 사이에 평행한 선로 배열로 구성되며 주어진 설계식은 필터 배열에서 단위길이당 선로 커패시턴스로 나타내고, 그 값은 실제 선로 크기를 결정한다. 그림 4는 폭과 간격이 다른 인터디지털 필터에 사용되는 평행 결합 선로이다.

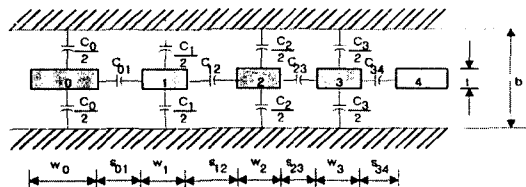


그림 4. 평행결합선로의 단면
Fig. 4. Cross-section of the parallel coupling line.

그림 4의 구조에서, 전기적 성질은 접지면에 대한 각 선로의 단위길이당 자기 커패시턴스와 상호 커패시턴스인 $\frac{C_k}{\epsilon}, \frac{C_{k,k+1}}{\epsilon}$ 으로 주어지며, 선로 폭과 간격은 아래 이론을 적용하여 구할 수 있다. 설계하고자 하는 기판을 결정하여 t와 b의 값을 구하면 식 (1)이 된다.

$$\frac{(\Delta C)_{k,k+1}}{\epsilon} = \frac{C_{k,k+1}}{\epsilon} \quad (1)$$

표 1. 인터디지털 필터 설계식
Table. 1. Designing equations of the interdigital filter.

$\theta_1 = \frac{\pi}{2} \frac{w_1}{w_0} = \frac{\pi}{2} (1 - \frac{t}{b}), \frac{J_{01}}{Y_A} = \frac{1}{\sqrt{g_0 g_1 w_1}}$	
$\left \frac{J_{k,k+1}}{Y_A} \right = \frac{1}{w_1 \sqrt{g_k g_{k+1}}}$	
$\frac{J_{n,n+1}}{Y_A} = \frac{1}{\sqrt{g_n g_{n+1} w_1}}, N_{k,k+1} = \sqrt{\left(\frac{J_{k,k+1}}{Y_A} \right)^2 + \frac{\tan^2 \theta_1}{4}}$	
$M_1 = Y_A \left[\frac{J_{01}}{Y_A} \sqrt{h+1} \right], M_n = Y_A \left[\frac{J_{n,n+1}}{Y_A} \sqrt{h+1} \right],$ h : 어드미턴스 스케일 인자	
자 기 케패시턴스	$\frac{C_0}{\epsilon} = \frac{376.7}{\sqrt{\epsilon_r}} [2Y_A - M_1]$
	$\frac{C_1}{\epsilon} = \frac{376.7}{\sqrt{\epsilon_r}} \left[Y_A - M_1 + hY_A \left[\frac{\tan \theta_1}{2} + \left(\frac{J_{01}}{Y_A} \right)^2 + N_{12} - \frac{J_{12}}{Y_A} \right] \right]$
	$\frac{C_k}{\epsilon} \Big _{k=2, n-1} = \frac{376.7}{\sqrt{\epsilon_r}} \left[hY_A [N_{k-1,k} + N_{k,k+1} - \frac{J_{k-1,k}}{Y_A} - \frac{J_{k,k+1}}{Y_A}] \right]$
	$\frac{C_n}{\epsilon} = \frac{376.7}{\sqrt{\epsilon_r}} \left[Y_A - M_n + hY_A \left[\frac{\tan \theta_1}{2} + \left(\frac{J_{n,n+1}}{Y_A} \right)^2 + N_{n-1,n} - \frac{J_{n-1,n}}{Y_A} \right] \right]$
	$\frac{C_{n+1}}{\epsilon} = \frac{376.7}{\sqrt{\epsilon_r}} [2Y_A - M_n]$
상 호 케패시턴스	$\frac{C_{01}}{\epsilon} = \frac{376.7}{\sqrt{\epsilon_r}} [M_1 - Y_A]$
	$\frac{C_{k,k+1}}{\epsilon} \Big _{k=1, n-1} = \frac{376.7}{\sqrt{\epsilon_r}} \left(\frac{J_{k,k+1}}{Y_A} \right)$
	$\frac{C_{n,n+1}}{\epsilon} = \frac{376.7}{\sqrt{\epsilon_r}} [M_n - Y_A]$

Getsinger 표를 이용하여 $s_{k,k+1}/b$ 을 구하고, 이 식으로부터 모든 선로사이의 간격 $s_{k,k+1}$ 와 $\frac{(C_{fe}')_{k,k+1}}{\epsilon}$ 을 얻는다. 따라서 k번째 선로의 폭은 아래 식으로 나타낼 수 있다.

$$\frac{w_k}{b} = \frac{1}{2} (1 - \frac{t}{b}) \left[\frac{1}{2} \left(\frac{C_k}{\epsilon} \right) - \frac{C_{fe',k-1,k}}{\epsilon} - \frac{C_{fe',k,k+1}}{\epsilon} \right] \quad (2)$$

그림 4의 가장 왼쪽에 있는 선로는 C_{fe}'/ϵ 을 C_f' 로 바꾸어 식 (3)으로 나타낼 수 있고, 표 1은 인터디지털 필터의 설계식을 나타내고 있다.

$$\frac{w_0}{b} = \frac{1}{2} (1 - \frac{t}{b}) \left[\frac{1}{2} \left(\frac{C_0}{\epsilon} \right) - \frac{C_f'}{\epsilon} - \frac{C_{fe',0,1}}{\epsilon} \right] \quad (3)$$

III. IRIF 설계

저역통과 프로토타입 필터는 $n=6$ 이고 0.1dB 체비세프 응답특성을 갖는 필터로 결정하였고, 인터디지털 필터에 사용한 기판(substrate)은 테프론이며 유전체의 비유전율은 2.5, 기판의 두께는 0.508mm, 동박 두께는 0.0178mm다. 표 2에 저역통과 프로토타입 필터의 파라미터를 나타냈다. [6] [8]

표 2. 저역통과 필터의 파라미터
Table. 2. Low pass filter parameters.

g_0	g_1	g_2	g_3	g_4	g_5	g_6	g_7
1	1.1681	1.4039	2.0562	1.5170	1.9029	0.8618	1.3551

따라서 2장의 기본설계이론과 표 1을 이용하여, 표 3과 같이 IRIF의 크기를 구하였다. 표 3에서 k는 IRIF의 각 공진기 순서를 나타내고 S는 공진기 사이의 공간, w_k 는 마이크로 스트립선의 폭을 나타낸다. 그 외에 $J/Y_A, \frac{C}{\epsilon}$ 는 표 1에서 정의한 각종 매개변수의 값을 의미한다.

표 3. 설계된 인터디지털 필터의 크기
Table. 3. Size of the practical designed interdigital filter.

k	$J_{k,k+1}/Y_A$	$N_{k,k+1}$	$C_{k,k+1}/\epsilon$	$S_{k,k+1}$ (mm)
0.6	0.9253		1.001	0.2
1.5	0.7809	15.260	0.191	0.5
2.4	0.5886	15.252	0.144	0.3
3	0.5662	15.251	0.139	0.3

k	c_k/ϵ	w_k (mm)
0.7	3.764	0.6
1.6	6.492	0.7
2.5	7.142	0.8
3.4	7.192	1.2

표 3은 설계된 인터디지털 필터의 크기이며, 대역통과 필터에 대한 시뮬레이션 결과는 그림 5에 나타났다.

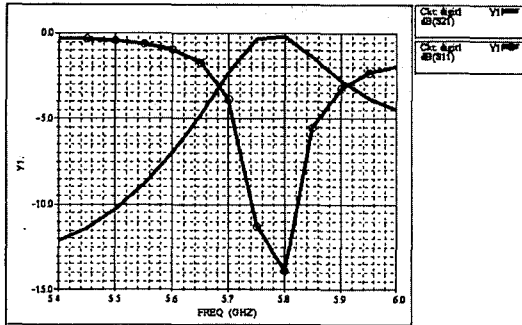


그림 5. 인터디지털 대역통과 필터의 시뮬레이션 결과
 Fig. 5. Simulation results of interdigital band pass filter.

그림 5의 시뮬레이션 결과에서 중심 주파수 5.775GHz에서 삽입손실은 0.15dB를 나타내고, RF 영상신호 제거 특성은 영상주파수 6.475GHz이상에서 -5dB의 결과를 얻었다.

IV. IRIF 제작 및 측정

본 논문에서는 RF 영상신호를 제거하기 위한 인터디지털 형태의 대역통과 필터를 설계·제작하였다. 본 논문에서 다루어진 RF 와 LO 신호는 매우 근접해 있기 때문에 영상 신호의 제거가 대단히 어렵고 이를 위해 대역폭이 좁고 스킷특성이 우수한 필터의 설계가 기본 요건이 되고 있다.

인터디지털 필터는 체비셰프 다항식을 이용하여 저역통과 프로토타입을 얻었으며, 간단한 변환함수를 사용하여 대역통과 특성을 갖도록 하였다. 기본구조는 접지면 사이에 평행한 선로 배열로 구성하였고, 설계식은 공진기 배열에서 단위길이당 선로 커패시턴스로 주어진다.

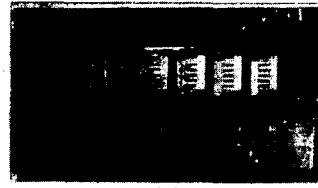
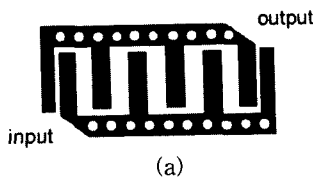


그림 6. 제작한 인터디지털 필터의 구조
 (a) 인터디지털 필터의 레이아웃
 (b) 제작된 인터디지털 필터 구조의 사진
 Fig. 6. Structure of the produced interdigital filter.
 (a) Layout of the interdigital filter
 (b) Photograph of the produced interdigital filter

본 논문에서 제작한 영상 제거 대역통과 필터의 특성은 6개의 선로 공진기와 양쪽 끝에 위치한 정합소자로 구성하였으며, 0.1dB의 체비셰프 응답을 갖도록 설계하였다.

본 논문에서는 그림 6(a)의 인터디지털 필터 레이아웃을 기초로 하여 실제 회로를 제작하였고, 그림 6(b)는 제작한 필터의 사진을 나타내고 있다. 스펙트럼 분석기 HP8563E를 사용하여 전달 특성을 측정하였고, 측정된 결과치와 시뮬레이션 결과를 서로 비교 분석하였으며, 측정된 필터의 대역특성은 그림 7에 나타났다.

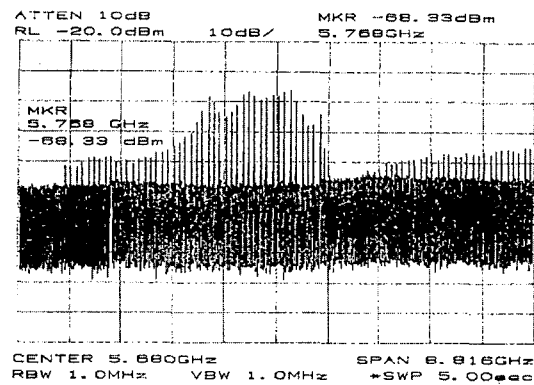


그림 7. 필터의 전달 특성
 Fig. 7. Transmission characteristics of the filter.

그림 7에서 입력전력이 -30dBm일 때 5.775GHz의 중심주파수에서 -36dBm의 출력으로 -6.3dB의 삽입손실을 나타내고 있다. 이는 시뮬레이션 결과 -0.15dB에 비해 현저히 큰 값을 나타내고 있으나 실험상의 오차를 제외하면 -3.3dB정도의 삽입손실을 얻었다. 또

한, 영상 주파수 6.425GHz에서 -47dBm으로 -17dB의 제거특성을 얻어 시뮬레이션 결과인 -5dB보다 양호한 결과를 보이고 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 5.8GHz 무선통신 시스템의 수신단에서 사용되는 영상제거를 위한 인터디지털 필터를 설계·제작하였다. 본 연구의 필터 회로는 비교적 구조가 간단하고 설계가 용이한 인터디지털 형태로 설계로서, 중심주파수의 3배에서 제2의 통과 대역이 나타나므로 공진 주파수 근처에서 강한 저지 특성을 보인다. 이론적인 해석을 기초로 설계·제작한 인터디지털 필터의 측정시 대역특성은 충분한 대역(4~8GHz)에서 -30dBm의 입력 신호를 인가하여 얻어진 결과이다. 중심주파수 5.775GHz 근처에서 6dB의 삽입손실을 나타내고 있으며, 이는 RF 케이블 손실, 복사 손실, 각종 기생성분에 의한 손실 등을 3dB로 보면 약 -3dB 정도의 대역특성을 나타낸다. 특히, 영상주파수 6.425GHz에서 영상신호 제거는 -17dB를 보여주고 있고, 고주파 밴드의 스킷특성이 우수하여 RF 영상신호 제거에 적합한 필터의 구조를 가지고 있다.

참 고 문 헌

- [1] Jonn Ness and Jim Dougall, "Microstrip Filters for Lower Frequency," Fiter Handbook, RF Design, vol I, pp. 49-52, 1991.
- [2] B. J. Minnis, "Classes of Sub-Miniature Microwave Printed Circuit Filters with Arbitrary Passband and Stopband Widths," IEEE Trans. Microwave Theory Tech, vol. 30, no. CT-15, pp. 1893-1900, 1982.
- [3] H. J. Orchard and G. C. Temes, Filter Design Using Transformed Variables, IEEE Trans. Circuit Theory, vol. CT-15, pp. 385-408, 1968.
- [4] G. L. Matthiae, L. Young and E. M. T. Jones, Microwave Filters, Impedance-Matching Networks and Coupling Structures, New York, McGraw-Hill, 1964.
- [5] S. B. Cohn, "Characteristic Impedance of Shileded Strip Transmission Line," IRE Trans. Microwave Theory Tech., vol. MTT-2, pp. 52-55, 1954.
- [6] M. C. Horton and B. J. Wenzel, "General Theory and Design of Optimum Quarter-wave TEM Filters," IEEE Trans. Microwave Theory Tech., ol. MTT-13, pp. 316-327, 1965.
- [7] 임정수, 남윤권, "유전체 공진기를 이용한 UHF 대역 대역통과 필터 설계 이론," Review Telecommunications, vol. III, no. 7, 1993.
- [8] Cristal, E. G., "New design equations for a class of microwave filters," IEEE Trans. on MTT, vol. MTT-19, pp. 486-490, May 1971.

저 자 소 개



劉載文(正會員)

1949년 4월 19일생. 1973년 2월 한양대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1980년 2월 한양대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사). 1998년 8월 건국대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사). 1978년 3월 ~ 현재 동

서울대학 전자과 교수



安正植(正會員)

1966년 5월 12일생. 1992년 2월 건국대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1994년 8월 건국대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사). 1997년 3월 ~ 현재 건국대학교 대학원 전자공학과 박사과정. 1995년 3월 ~ 1997년

3월 아세아 항공 전문학교 전문교사. 1997년 4월 ~ 1998년 CTI 중앙연구소 연구원. 1997년 9월 ~ 현재 동서울대학 전자통신과 겸임교수. 1998년 ~ 현재 웨이브컴(주) 부설 정보통신연구소 연구실장



姜廷震(正會員)

1959년 12월 21일생. 현재 동서울대학 전자통신과 교수. 대한전자공학회 전자공학 교육논문지 1997년 vol. 11, no. 2, pp. 215-222 참조