

“十”자 공진기와 용량성 결합을 이용한 초광대역 대역 통과 여파기

UWB Bandpass Filter Using Capacitive Coupling with Cross Resonator

동 타이 호아 · 이 재 영* · 김 인 석

Dong Thai Hoa · Jae-Young Lee* · Ihn-Seok Kim

요 약

본 논문에서는 급격한 감쇄율 특성을 갖는 독창적인 초광대역(UWB: Ultra Wideband) 스트립라인 대역 통과 여파기(BPF)를 소개한다. 초광대역의 특성은 기본적으로 “十”자 공진기와 주 전송 선로간의 용량성 결합으로부터 얻어진다. “十”자 공진기는 $\lambda/2$ 의 전송 선로의 중심에 두 개의 스텐브를 병렬 연결된 구조를 가진다. 하나는 $\lambda/8$ 단락 회로 스텐브로 $\lambda/2$ 전송 선로의 상측에 연결되고, 다른 하나는 $\lambda/8$ 개방 회로 스텐브로 $\lambda/2$ 전송 선로의 하측에 연결된다. 이 두 개의 스텐브들은 통과 대역의 하단과 상단의 차단주파수에서 두 개의 감쇄극을 제공한다. “十”자 공진기 상측에 위치하여 용량성 결합을 이루는 주 전송 선로는 입력과 출력 선로에 또 한번의 $\lambda/4$ 길이의 용량성 결합을 하여 통과 대역 하부와 상부의 저지 대역에서 원하지 않는 신호를 억압하기 위해 구성하였다. 본 여파기는 미국에서 허가한 초광대역(3.1~10.6 GHz)의 대역에서 선택도가 우수한 대역 통과 특성을 얻기 위해 2.4 GHz와 11.1 GHz에서 81 dB/GHz와 86 dB/GHz의 기울기를 제공하는 두 개의 전송 영점(감쇄극)을 갖도록 설계되었다. 본 여파기는 유전상수 7.8을 갖는 저온 동시 소성 세라믹(LTCC) 그린테이프로 제작되었다. 측정 결과는 HFSS 해석 결과와 거의 일치하였다. 통과 대역에서 0.7 dB 이하의 삽입 손실과 14 dB 이상의 반사 손실이 측정되었다. 중심 주파수 군 위상 지연은 0.27 ns이고, 통과 대역에서 군 위상 지연의 변화량은 0.5 ns 이하이다. 본 여파기의 크기는 $6 \times 18 \times 0.6 \text{ mm}^3$ 이다.

Abstract

This article introduces a novel ultra wideband(UWB) bandpass filter(BPF) with sharp roll-off characteristics in stripline structure. The UWB characteristic is basically obtained from capacitive coupled cross resonator. The resonator has $\lambda/2$ length. And at the center of the resonator, two stubs are loaded, one is a $\lambda/8$ short-circuited stub and the other is a $\lambda/8$ open-circuited stub. The two stubs provide two attenuation poles at lower and upper cutoff frequencies. For input and output lines, two identical capacitively coupled lines have been installed to suppress the unwanted signals in the lower and upper stopbands. The filter has been designed for the U.S. UWB band(3.1~10.6 GHz) with two transmission zeros at 2.4 and 11.1 GHz. The filter has been realized with Low Temperature Core-fired Ceramic(LTCC) green tape which has the dielectric constant of 7.8. Measurement results agree well with HFSS simulation results. Insertion loss less than 0.7 dB and return loss better than 14 dB in the pass band have been measured. The group delay in the center frequency is 0.27 ns and the group delay variation within pass band is less than 0.5 ns. The size of the filter is $6 \times 18 \times 0.6 \text{ mm}^3$.

Key words : UWB, Bandpass Filter, Capacitive Coupling, Cross Resonator

경희대학교 전자정보대학(Department of Radio Science & Engineering, KyungHee University)

*전자부품연구원(KETI)

· 논문 번호 : 20100210-005

· 교신저자 : 김인석(e-mail : ihnkim@khu.ac.kr)

· 수정완료일자 : 2010년 3월 19일

I. 서론

초광대역 기술(UWB: Ultra Wideband)의 비허가 사용이 미국에서 승인된 이후^[1], UWB 기술은 전세계적으로 실내와 휴대 무선 통신 시스템에서 새로운 고속 전송 개발의 핵심 이슈로 되어 오고 있다. 대역 통과 여파기는 UWB 통신 시스템에서 주요 핵심 부품 중의 하나로, 특히 실내와 휴대용의 경우, 소형화, 좋은 선택도, 저지 대역의 급격한 감쇄율, 낮은 삽입 손실, 그리고 저가의 특성이 요구되고 있다. 특히 UWB 시스템의 방사 제한을 만족하기 위하여 통과 대역 하단과 상단의 급격한 선택도는 UWB 시스템이 반드시 얻어져야 하는 특성이다.

UWB 대역 통과 여파기 기술은 Saito가 처음 소개하고 난 후에 수많은 UWB BPF 연구 개발에 관한 논문이 발표되었다^{[2]~[15]}. 상기 논문들 중에서, 특히 참고문헌 [8]과 참고문헌 [12]~[15]에서 발표된 여파기는 급격한 선택도와 소형의 특성을 보여 준다. 이 여파기들에 대한 회로 구조, 제조 기술, 삽입 손실, 반사 손실, 군 지연, 낮은 변환 대역에서의 감쇄 기울기와 크기 특성을 표 1에 비교하였다. 표 1에는 본 연구 결과도 포함한다.

본 논문에서는 통과 대역 하단의 전이 대역에서 81 dB/GHz와 상단의 전이 대역에서 86 dB/GHz의 급격한 기울기를 갖는 새로운 UWB 대역 통과 여파기

를 제안한다.

제Ⅱ장에서는 본 연구에서 제안하는 UWB 대역 통과 여파기 회로의 기반 구조인 “+”자 공진기 설계 이론을 소개한다. 본 설계 이론은 용량성 결합을 하는 “+”자 공진기 구조로부터 두 개의 감쇄극을 얻는 방법, 입력과 출력 선로를 추가하는 방법, ABCD 행렬 방법과 ADS 시뮬레이션으로 3.1~10.6 GHz 주파수의 UWB 대역 통과 여파기를 얻는 방법을 설명한다. 제Ⅲ장에서는 HFSS 시뮬레이션과 제작된 대역 통과 여파기의 측정 결과를 비교한다.

II. 설계 이론

본 연구에서 개발한 대역 통과 여파기의 구조는 그림 1에서 보여주는 것과 같이 두 개의 층을 가지는 구조로 설계되었다. 대역 통과 여파기는 $\lambda/2$ 길이의 전송 선로의 중심 한 쪽에 $\lambda/8$ 개방 회로 스텐브와 다른 쪽에 $\lambda/8$ 단락 회로 스텐브를 갖는 “+”자 공진기와 용량성으로 결합되는 $\lambda/2$ 길이의 주 전송 선로와 두 개의 $\lambda/4$ 의 동일한 선로가 용량성 결합을 하는 입력과 출력 단자로 구성된다. 이 여파기의 중심 주파수는 6.85 GHz로 미국 UWB 대역을 위한 설계이다.

여파기 설계는 그림 2에서 제시된 것처럼 주 전송 선로(흰색 부분)와 “+”자 공진기(음영 부분) 사이의 결합 구조를 우수와 기수 모드 해석에서 시작된다.

표 1. 기존에 발표된 급격한 선택도를 보이는 초광대역 여파기들의 특성 비교

Table 1. Comparison of characteristics of various UWB BPFs with steep skirt selectivity.

변수	참고문헌 [8]	참고문헌 [12]	참고문헌 [13]	참고문헌 [14]	참고문헌 [15]	본 연구
통과 대역(GHz)	3.5~10.6	3.1~10.6	3.2~4.8	3.1~10.6	3.1~10.6	3.1~10.6
회로 구조	Composite microstrip / coplanar waveguide	Edge coupled microstrip / stepped impedance open stub	Left handed property's interdigital coupled line	$5 \lambda_0/4$ SIR / short stub	Capacitively coupled T resonator	Capacitively coupled cross resonator
기술	PCB	PCB	PCB	PCB	LTCC	LTCC
삽입 손실(dB)	0.48	0.5	1.0	0.65	0.8	0.6
반사 손실(dB)	17.2	18	13	18	17	14
군지연(ns)	0.5	0.21	0.49	0.5	0.2	0.25
낮은 전이 대역 기울기 (dB/GHz)	64	50	46	65	67	81
크기(mm ²)	8×11.9	18.6×13.5	20×20	10×18.82	9×9	6×18

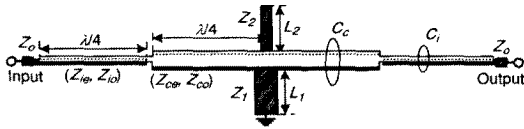


그림 1. 용량성 결합을 하는 “+”자 공진기(중앙 부)와 $\lambda/4$ 결합 선로의 입력/출력 단자로 제안된 여파기 회로도

Fig. 1. Schematic for the proposed filter with capacitively coupled cross resonator(middle section) and $\lambda/4$ coupled lines at the input/output ports.

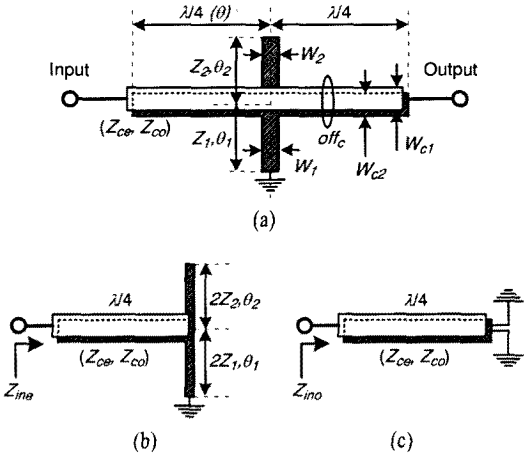


그림 2. (a) 용량성 결합을 보여주는 주 전송 선로(흰색 부분)와 “+”자 공진기(음영 부분) 구조, (b) 우수 모드 회로 모델, (c) 기수 모드 회로 모델을 보여주는 그림

Fig. 2. (a) Capacitive coupling between the main line (empty section) and the cross resonator(shaded section) structure, (b) Even-mode circuit model. (c) Odd-mode circuit model.

그림 2(b)는 우수 모드 여기 조건 하에서 그림 2(a)에서 회로 구조에 대한 1단자 회로 모델을 보여 준다. 이 경우, 대칭면은 완전한 자기벽이 된다. 따라서 단락 회로 스테브 개방 회로의 스테브의 특성 임피던스는 두 배가 되고($2Z_1, 2Z_2$), 상층의 주 전송 선로는 개방 회로가 된다. 그러므로, 입력 임피던스(Z_{ine})는 식 (1)로 표현될 수 있다.

$$Z_{ine} = \frac{j}{2\sin\theta} \frac{(Z_{c-}^2 - Z_{c+}^2 \cos^2\theta)Z_A + Z_{c+}Z_1Z_2 \sin 2\theta}{Z_{c+}Z_A \cos\theta - 2Z_1Z_2 \sin\theta} \quad (1)$$

여기서

$$Z_A = \frac{Z_2 \cos\theta_1 \cos\theta_2 - Z_1 \sin\theta_1 \sin\theta_2}{2\cos\theta_1 \sin\theta_2}$$

$$Z_{c+} = Z_{ce} + Z_{co}$$

$$Z_{c-} = Z_{ce} - Z_{co}$$

Z_{ce} 와 Z_{co} 는 결합 선로의 우수와 기수 모드 임피던스이고, Z_1 과 Z_2 는 각 선로들에 대한 특성 임피던스, 그리고 θ_1 과 θ_2 은 단락 회로 스테브와 개방 회로 스테브의 전기적 길이를 각각 나타낸다. 기수 모드 여기 조건에서, 그림 2(a)의 결합 구조는 그림 2(c)에서 보여준 1 포트 네트워크로 표현되어질 수 있다. 이 경우, 대칭 면에서의 회로는 중앙의 스트립 도체가 가상의 전기벽을 경유하여 접지와 연결되었으므로 단순히 단락 회로로 간주될 수 있다. 그러므로, 식 (2)와 같이 입력 임피던스(Z_{ino})를 얻을 수 있다.

$$Z_{ino} = j \frac{\tan\theta}{2} Z_{c+} \quad (2)$$

$$\Gamma_e = (Z_{ine} - Z_0) / (Z_{ine} + Z_0)$$

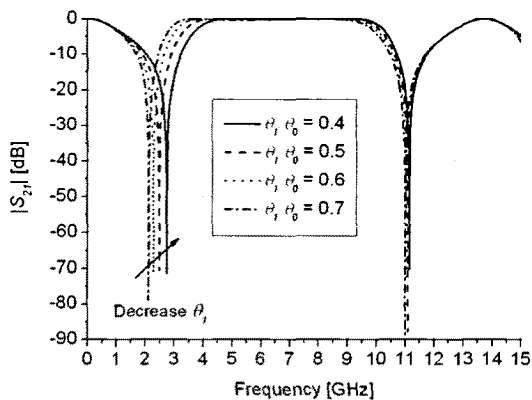
$$\Gamma_o = (Z_{ino} - Z_0) / (Z_{ino} + Z_0) \quad (3)$$

$$S_{11} = (\Gamma_e + \Gamma_o) / 2$$

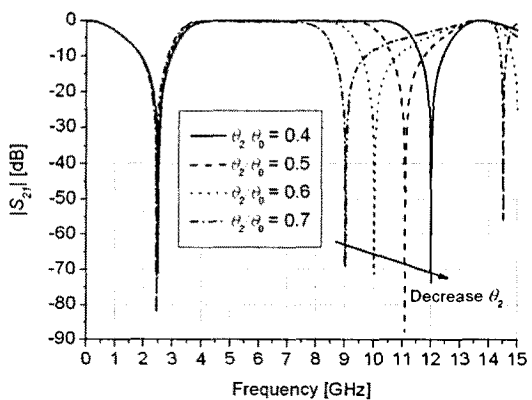
$$S_{21} = (\Gamma_e - \Gamma_o) / 2 \quad (4)$$

$$Z_A \cot\theta = \frac{2Z_{c+}Z_1Z_2}{(Z_{c+}^2 - Z_{c-}^2)} \quad (5)$$

다음으로, 우수 모드(Γ_e)와 기수 모드(Γ_o)의 반사 계수는 식 (3)으로 결정될 수 있다. 그리고, 그림 2(a)의 용량성으로 결합하는 “+”자 공진기 구조의 S_{11} 과 S_{21} 은 식 (4)로 나타내어진다. 전송 영점 주파수에서 S_{21} 값은 1과 같으므로 제안된 필터의 전송 영점의 위치는 식 (5)로부터 얻어진다. 이 전송 영점은 주 전송 선로와 “+”자 공진기 사이의 결합 계수, 임피던스, 스테브의 길이에 좌우된다. 그림 3에 제시된 것처럼, 중심 주파수 $\theta_0 = \pi/2$ 에서 통과 대역의 하단 전송 영점의 위치는 단락 회로 스테브의 전기적 길이 θ_1 와 상단 전송 영점의 위치는 개방 회로 스테브의 전기적 길이 θ_2 에 좌우된다. θ 의 값이 작아질수록 하단의 전송 영점 주파수는 상향되고, θ_2 도 θ_1 의 경우와 마찬가지로 θ_2 의 값이 작아질수록 상단 전송 영점의 주파수는 상향된다. 그러나 θ_2 의 영



(a)



(b)

그림 3. 단락 스텐브(θ_1)와 개방 스텐브(θ_2)의 전기적 길이에 따른 상·하단의 전송 영점의 위치 변화($W_{c1}=W_{c2}=0.35$ mm, $off_c=0$ mm, $W_1=W_2=0.5$ mm, $\theta_0=\pi/2$)

Fig. 3. Locations of lower and upper transmission zeros depending on electrical length of the short-circuited stub(θ_1) and that of the open-circuited stub(θ_2) ($W_{c1}=W_{c2}=0.35$ mm, $off_c=0$ mm, $W_1=W_2=0.5$ mm, $\theta_0=\pi/2$).

항은 θ_1 의 경우보다 크게 나타난다.

다음 단계로, 그림 2(a)에서 주 전송 선로와 결합된 입출력 선로를 하단과 상단의 저지 대역에서 DC 성분과 고조파 성분과 같은 원하지 않는 신호를 억압하기 위해서 채택되었다. 25 dB 이상의 억압 특성을 얻기 위해 입출력 결합 선로의 우수와 기수 모드의 임피던스는 각각 90.3 Ω 과 22.96 Ω 으로 설정하였다. 그리고 50 Ω 의 입출력 전송 선로는 그림 1에 제시된 것처럼 결합 선로에 연결되어 있다. 본 연구에서, 기판 두께는 0.6 mm, 유전상수 7.8, 도체 두께

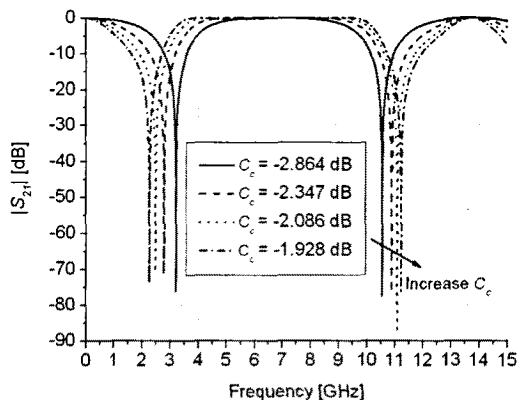


그림 4. 주 전송 선로와 “+”자 공진기간의 용량성 결합 계수에 따른 상하단 전송 영점의 위치 변화($W_{c1}=W_{c2}=0.15$ 에서 0.45 mm, $off_c=0$ mm, $W_1=W_2=0.5$ mm, $\theta_0=\pi/2$, $\theta_1=\theta_2=\pi/4$)

Fig. 4. Locations of lower and upper transmission zeros depending on the capacitive coupling coefficient C_c between the main line and the cross resonator ($W_{c1}=W_{c2}=0.15$ 에서 0.45 mm, $off_c=0$ mm, $W_1=W_2=0.5$ mm, $\theta_0=\pi/2$, $\theta_1=\theta_2=\pi/4$).

10 μ m와 용량 결합의 갭 43 μ m의 스트립 선로의 구조가 사용되었다. 그리고 $Z_{ce}=55.87$ Ω , $Z_{co}=5.95$ Ω , $Z_1=Z_2=25.51$ Ω , $\theta_1=\theta_2=\pi/4$ 를 선택하여 두 개의 전송 영점이 2.5 GHz와 11.1 GHz에 위치하게 하였다.

$$[ABCD]_i = \begin{bmatrix} \frac{Z_{i+}}{Z_{i-}} \cos \theta & j \frac{Z_{i-}^2 - Z_{i+}^2 \cos^2 \theta}{2Z_{i-} \sin \theta} \\ j \frac{2 \sin \theta}{Z_{i-}} & \frac{Z_{i+}}{Z_{i-}} \cos \theta \end{bmatrix} \quad (6)$$

여기서 $Z_{i+}=Z_{ie}+Z_{io}$ and $Z_{i-}=Z_{ie}-Z_{io}$

$$[ABCD]_T = [ABCD]_i \times [ABCD]_c \times [ABCD]_i \quad (7)$$

용량성으로 결합하는 “+”자 공진기의 $[ABCD]_c$ 행렬은 참고문헌 [16]에 의하여, 식 (4)의 S파라메타로부터 계산될 수 있다. 입출력 결합 선로의 $[ABCD]_i$ 행렬은 식 (6)으로 쓸 수 있는데, 이때 Z_{ie} 와 Z_{io} 는 결합 선로의 우수와 기수 모드의 특성 임피던스이다. 따라서 전체 여파기의 $[ABCD]_T$ 행렬은 “+”자 공진기 구조의 전송 매트릭스 $[ABCD]_c$ 와 차례로 입출력 결합 선로의 매트릭스(6)의 곱으로 나타낸 식

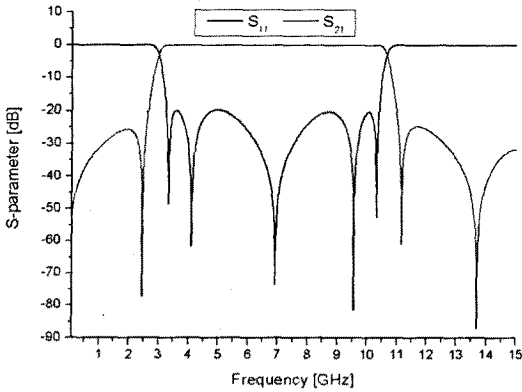


그림 5. 제안된 여파기의 ADS 시뮬레이션 결과
Fig. 5. ADS simulation results for the proposed filter.

(7)로 구할 수 있다. 끝으로, 참고문헌 [16]에서와 같이 전체의 필터 구조를 위한 산란 행렬을 얻을 수 있다. 그림 5는 제안된 대역 통과 여파기의 ADS 시뮬레이션 결과를 보여 준다. 본 여파기는 2.5 GHz와 11.1 GHz에서 두 개의 전송 영점을 가지며, 3.1~10.6 GHz의 대역폭을 보여 준다. 본 여파기의 ADS(2008, Agilent) 시뮬레이션 결과를 보면 U.S. UWB 적용을 위해 평탄한 넓은 통과 대역 특성과 하측과 상측의 차단 대역에서 불필요한 통과 대역을 효과적으로 억압하였음을 볼 수 있다.

III. 필드 해석과 측정 결과

그림 6에 제시된 것처럼 “+”자 공진기의 여파기 구조는 HFSS(v.11, Ansoft) 프로그램에 의해 해석과 튜닝되었다. 전체 회로는 14층으로 구성되었고, 각 층은 43 μm의 두께와 유전상수는 7.8의 기판으로 이루어졌다. 여파기 회로 구조는 6과 7 계층에 위치했다. 간섭의 효과를 축소하기 위해 비아 벽들이 도체 벽 대신에 구조에 추가하였다. 이용된 LTCC 제조 공정의 한계로 인하여, 두 개의 인접 비아 사이의 최소 거리는 0.35 mm 이상일 필요가 있었다. 이는 통과 대역에서 네 번째 전송극이 사라지게 되는 여파기의 성능 열화를 나타냈다. 우리는 Anritsu ME-7808A 회로망 분석기와 Cascade Microtech Summit 12971B 푸루브 스테이션으로 여파기 특성을 측정했다.

측정 결과들은 시뮬레이션 결과들과 비교되었다. 입출력 스트립 선로는 비아(비아의 직경 120 μm)

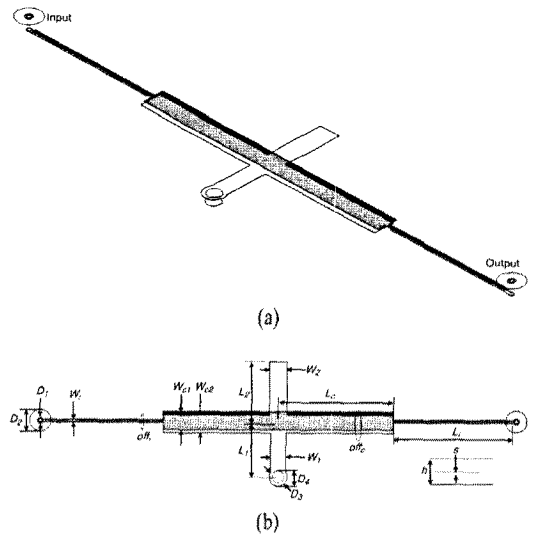


그림 6. “+”자 공진기 여파기의 구조 (a) 3차원 구조도, (b) 평면도($W_1=70 \mu\text{m}$, $off=0 \text{ mm}$, $L_1=3.9 \text{ mm}$, $W_{c1}=W_{c2}=0.5 \text{ mm}$, $off_c=60 \mu\text{m}$, $L_c=3.8 \text{ mm}$, $W_1=0.5 \text{ mm}$, $L_1=1.7 \text{ mm}$, $W_2=0.55 \text{ mm}$, $L_2=2 \text{ mm}$, $D_1=0.2 \text{ mm}$, $D_2=0.75 \text{ mm}$, $D_3=0.4 \text{ mm}$, $D_4=0.55 \text{ mm}$, $h=0.6 \text{ mm}$, $s=43 \mu\text{m}$)

Fig. 6. The structure of the cross resonator filter, (a) 3-D view and (b) top view($W_1=70 \mu\text{m}$, $off=0 \text{ mm}$, $L_1=3.9 \text{ mm}$, $W_{c1}=W_{c2}=0.5 \text{ mm}$, $off_c=60 \mu\text{m}$, $L_c=3.8 \text{ mm}$, $W_1=0.5 \text{ mm}$, $L_1=1.7 \text{ mm}$, $W_2=0.55 \text{ mm}$, $L_2=2 \text{ mm}$, $D_1=0.2 \text{ mm}$, $D_2=0.75 \text{ mm}$, $D_3=0.4 \text{ mm}$, $D_4=0.55 \text{ mm}$, $h=0.6 \text{ mm}$, $s=43 \mu\text{m}$).

구조를 이용하여, 내부와 외부 직경을 200 μm와 750 μm 각각 가지고 있는 입출력 원형 단자와 연결되었다. 측정 푸루브는 여파기를 측정하기 위해 400 μm 피치 크기의 푸루브를 사용하였다. 그림 7은 필터의 S파라메타와 군 지연에 관해서 시뮬레이션과 측정 결과의 비교를 나타낸다. 점선 라인은 측정 결과를 나타낸다. 시뮬레이션 결과는 7.5 GHz(3.1~10.6 GHz)의 대역폭을 갖는다. 반사 손실은 15 dB 이상이고 통과 대역에서 삽입 손실은 0.3 dB 이하이다. 필터의 군 지연은 6.85 GHz에서의 약 0.26 ns이고, 3.5~10.2 GHz에서 0.25 ns 내에 변동을 가진다. 하단과 상단의 전이 대역의 감쇄 기울기는 각각 94 dB/GHz와 95 dB/GHz 이다.

본 여파기는 2.45 GHz와 11.05 GHz에 각각 두 개의 전송 영점을 가진다. 그림 7의 실선 라인은 시뮬레이션 결과를 표시한다. 앞에서 언급한 것과 같이

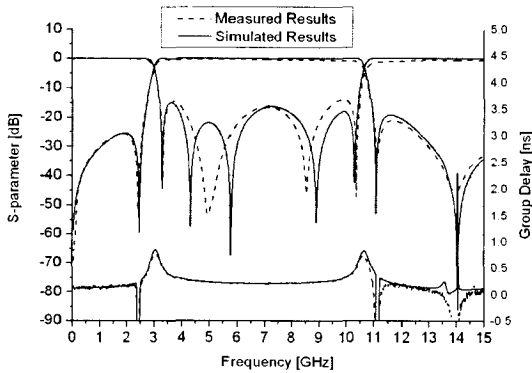


그림 7. 제안된 여파기의 시뮬레이션 결과와 제작된 LTCC 여파기의 측정 결과 비교
 Fig. 7. Comparison between measured and simulated results for the proposed filter.

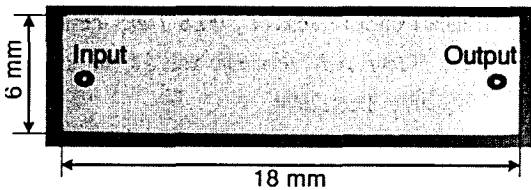


그림 8. 제작된 대역 통과 여파기의 평면도
 Fig. 8. Top view of the fabricated bandpass filter.

본 연구의 LTCC 제조공정의 한계 때문에, 측정 결과에서 두 번째와 세 번째 극이 제대로 확인되지 않았고, 오직 통과 대역 내에 5극 대신에 4극을 관찰할 수 있었다. 삽입 손실은 0.6 dB보다 낮았고, 14 dB 이상의 반사 손실이 측정되었다. 군 지연은 중심 주파수에서의 0.26 ns이고, 3.5~10.2 GHz에서의 군 지연 변동은 0.25 ns보다 작았다. 하측 전이 대역의 감쇄 기울기는 80 dB/GHz이고, 상측 전이 대역의 감쇄 기울기는 86 dB/GHz이다. 제안된 필터는 6×18×0.6 mm³의 크기를 가지며, 하측과 상측의 저지 대역에서 전송 영점과 함께 매우 급격한 주파수 선택도 특성을 갖는다. 그림 8은 제작된 대역 통과 여파기의 평면도를 보여준다.

IV. 결 론

본 논문에서는 미국의 초광대역 주파수 대역을 커버하는 급격한 감쇄율 특성을 보이는 새로운 LTCC 공정기술의 UWB 대역 통과 여파기를 소개하

였고, “+”자 공진기와 용량성 결합 구조가 초광대역 특성을 보이는 것을 보였다. 또한 여파기의 하측과 상측의 전송 대역의 두 개 전송 영점의 위치는 주 전송 선로와 “+”자 공진기 사이의 용량성 결합 계수와 단락/개방 스티브의 길이에 의해 조절될 수 있는 것도 보였다. HFSS 시뮬레이션 결과는 시제품 측정 결과와 거의 일치하였다. 본 여파기의 급격한 감쇄율 특성과 간단한 구조가 특별히 모바일 홈 네트워크 응용 분야의 UWB 시스템에 매우 적합하게 활용되는 것이 가능하리라 기대한다.

참 고 문 헌

- [1] "Revision of part 15 of the commission's rules regarding ultra wideband transmission system", Federal Communications Commission, 2006 [Online]. Available: <http://ftp.fcc.gov/oet/info/rules/part15>.
- [2] A. Saito, H. Harada, and A. Nishikata, "Development of bandpass filter for Ultra Wideband(UWB) communication systems", *Proc. IEEE Conf. Ultra Wideband Syst. Technol.*, pp. 76-80, Nov. 2003.
- [3] H. Ishida, K. Araki, "Design and analysis of UWB bandpass filter with ring filter", *IEEE MTT-S Int. Microwave Symp. Dig.*, pp. 1307-1310, Jun. 2004.
- [4] C. L. Hsu, F. C. Hsu, and J. T. Kuo, "Microstrip bandpass filter for Ultra-Wideband(UWB) wireless communications", *IEEE MTT-S Int. Microwave Symp. Dig.*, pp. 679-682, Jun. 2005.
- [5] L. Zhu, S. Sun, and W. Menzel, "Ultra-wideband (UWB) bandpass filters using multiple mode resonator", *IEEE Microwave Wireless Compon. Lett.*, vol. 15, no. 11, pp. 796-798, Nov. 2005.
- [6] H. Wang, L. Zhu, and W. Menzel, "Ultra-wideband bandpass filter with hybrid microstrip/CPW structure", *IEEE Microwave Wireless Compon. Lett.*, vol. 15, no. 12, pp. 844-846, Dec. 2005.
- [7] J. Gao, L. Zhu, W. Menzel, and F. Bogelsack, "Short-circuited CPW multiple-mode resonator for Ultra-Wideband(UWB) bandpass filter", *IEEE Microwave Wireless Compon. Lett.*, vol. 16, no. 3, pp. 104-106, Mar. 2006.

- [8] T. Kuo, S. Lin, and C. H. Chen, "Compact ultra-wideband bandpass filters using composite microstrip-coplanar-waveguide structure", *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 54, no. 10, pp. 3772-3778, Dec. 2000.
- [9] R. Li, L. Zhu, "Compact UWB bandpass filter using stub-loaded multiple-mode resonator", *IEEE Microwave Wireless Compon. Lett.*, vol. 17, no. 1, pp. 40-42, Jan. 2007.
- [10] S. W. Wong, L. Zhu, "EBG-embedded multiple-mode resonator for UWB bandpass filter with improved upper-stopband performance", *IEEE Microwave Wireless Compon. Lett.*, vol. 17, no. 6, pp. 421-423, Jun. 2007.
- [11] J. A. Ruiz-Cruz, Y. Zhang, K. A. Zaki, A. J. Piloto, and J. Tallo, "Ultra-wideband LTCC ridge waveguide filters", *IEEE Microwave Wireless Compon. Lett.*, vol. 17, no. 2, pp. 115-117, Feb. 2007.
- [12] P. K. Singh, S. Basu, and Y. H. Wang, "Planar ultra-wideband bandpass filter using edge coupled microstrip lines and stepped impedance open stub", *IEEE Microwave Wireless Compon. Lett.*, vol. 17, no. 9, pp. 649-651, Sep. 2007.
- [13] H. Uchida, N. Yoneda, and Y. Konishi, "An elliptic-function bandpass filter utilizing left-handed operations of an inter-digital coupled line", *IEICE Trans. Electron.*, vol. E91-C, no. 11, pp. 1771-1777, Nov. 2008.
- [14] C. P. Chen, Z. Ma, H. Nihei, and T. Anada, "Novel compact ultra-wideband bandpass filter with steep skirt selectivity", *Proc. 38th European Micro. Conf.*, pp. 849-852, Oct. 2008.
- [15] Thai Hoa Duong, Ihn S, Kim, "New elliptic function type UWB BPF based on capacitively coupled $\lambda/4$ open t resonator", *IEEE Trans. on Microwave Theory and Technique*, vol. 57, no. 12, pp. 3089-3098, Dec. 2009.
- [16] D. M. Pozar, *Microwave Engineering*, 2nd Ed., New York: Wiley, Chap. 4, 1998.

동 타이 호아



2004년 6월: 호치민시립대학 전기공학과 (공학사)
 2010년 2월: 경희대학교 전자정보대학 (공학박사)
 현재: 경희대학교 전자정보대학 전자과공학연구실에서 박사후 연구과정

[주 관심분야] 마이크로웨이브 분야에서 평면형 회로를 이용한 공진기, 광대역 필터, 전력분배기/결합기, 방향성 결합기 등에 관한 연구와 초광대역(UWB: Ultra Wideband) 대역 통과 필터의 소형화

이 재 영

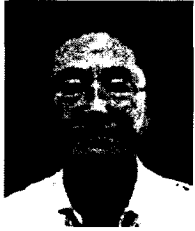


1990년 2월: 아주대학교 전자공학과 (공학사)
 1990년 1월: 금성전기(현, LG이노텍) 개발실 사원
 1999년 2월: 한양대학교 전자공학 (공학석사)
 2008년 3월~현재: 경희대학교 전자과공학 박사과정

1996년 8월~현재: 전자부품연구원(KETI) 융합통신부품연구센터 책임연구원

[주 관심분야] RF FEM 모듈 개발, Flexible Appliance 기기 개발, 밀리미터파 센서기술

김 인 석



1974년 2월: 경희대학교 전파공학과 (공학사)

1984년 2월: Univ. of Ottawa 전기공학과 (공학석사)

1990년 10월: Univ. of Ottawa 전기공학과 (공학박사)

1973년 10월~1980년 8월: 한국방송공사(KBS) 기술사원

1983년 2월~1983년 12월: 캐나다 Com Dev Ltd, Div of Satellite System, Technical Staff

1984년 1월~1985년 8월: 캐나다 General Instrument, Div. Satellite System, Senior Engineer

1990년 10월~1991년 2월: Canadian Space Agency, David Florida Lab., Research Scientist

1997년 1월~2001년 12월: 정보통신부 국가주파수 심의위원

1999년 3월~2000년 2월: 한국전자통신연구원(초빙연구원), 스위스 연방공과대학(방문교수), 모토로라 전자파연구소(Ft. Lauderdale, US) 초빙연구원

2002년 1월~2007년 12월, 2010년 1월~현재: 미국 전기전자공학학회(IEEE Microwave & Wireless Components Letters) 논문편집위원

2003년 1월~2004년 12월: (사)한국항공학회 회장

2004년 7월~ 2007년 2월: 한국전파교육대학협의회 회장

2006년 11월~현재: 한국전자파학회 전파교육연구회 위원장

2007년 1월~현재: 방송통신위원회 전파연구소 전자파기 준전문위원회 BF소위원회 위원장

2000년 1월~현재: 미국 전기전자공학학회(IEEE Microwave Theory & Techniques) 논문 편집위원

1992년 3월~현재: 경희대학교 전자정보대학 전자·전파공학 교수

[주 관심분야] 마이크로웨이브 공진기연구, 공진기의 발진기와 필터 쪽의 응용 연구, 초광대역(UWB) 수동소자(필터, 전력 분배기결합기, 방향성결합기), EMI/C 대책 기술, 전파교육 등