

다층 인쇄회로기판에 집적된 Comblin 구조의 2.4GHz 대역통과필터

김준연, 손미현*, 이성수*, 김용준
 연세대학교 기계전자공학부, 삼성전자 종합기술원*

2.4GHz BPF Integrated into Multi-layer PCB Using Comblin Structures

Joon-Yeon Kim, Mi-Hyun Son*, Seong-Soo Lee*, Yong-Jun Kim,
 School of mechanical & electrical engineering at Yonsei University, SAIT*

Abstract - 다층 인쇄 회로 기판에 Comblin 구조를 가진 스트립 라인 또는 마이크로 스트립 라인 대역통과 필터를 구현하였다. 저 비용 구현과 이동성과 휴대성을 강조하기 위해 기존의 세라믹 대신 FR4 와 에폭시를 기반으로 하는 다층 회로 기판의 도체 층에 집적화 하였다. Comblin 각 끝단에 커패시터를 부하 함으로써 전기적 길이를 확장하였고 전체적인 크기를 감소시킴으로써 적당한 필터 특성을 얻을 수 있었다. 구현된 필터는 마이크로파 대역에서 사용 가능하며 특히 Bluetooth 나 Wireless LAN 과 같은 ISM 대역을 사용하는 무선 통신소자로서 사용 가능하다.

Comblin 필터는 300MHz에서 10GHz 까지의 높은 가용주파수 범위를 가지지만 큰 사이즈와 적지 않은 비용을 단점으로 가진다. 본 논문에서는 저가형 필터의 개발을 위해 현재 일반적으로 사용되며 대량생산이 가능한 다층 인쇄회로기판에 집적형 Comblin filter를 구현하였다. 고주파에서의 안정성과 함께 낮은 손실, 좁은 대역 폭 등에 부합될 수 있도록 스트립라인을 사용한 집적형 Comblin 필터는 리플이 없이 하나의 Pole을 가지도록 설계하여 통과대역에서 삽입손실과 대역폭이 좁아져 저 위 조건에 타당한 결과를 가질 수 있다.

1. 서 론

무선통신 기술의 빠른 발달과 함께 그에 대한 응용제품의 발달도 빠르게 가속화되고 있으며 그 적용 범위도 기존의 무선기기의 고유영역 이외에 Bluetooth 나 Wireless LAN 과 같이 모든 기기에 무선 통신을 적용시킬 수 있는 제품에 대한 수요가 급격히 증가하고 있다. 이러한 추세에 부응하기 위해서는 저 단가의 제품 구현이 요구되고 있는 실정이다.

또한 요구되고 있는 성능들 중에서 공통적인 요구사항으로는 간편한 휴대를 위한 작은 사이즈와 가벼운 무게, 그리고 오랜 지속시간을 위한 높은 효율 등이 있다. 그리하여 표면탄성과 필터와 같은 패시브 소자에 대한 비용과 크기를 감소시키기 위한 노력이 끊임없이 진행되고 있다. Comblin 필터는 부분적으로 작은 크기와 급격한 감쇠 특성, 넓은 차단 주파수, 그리고 작은 가공오차 등의 특징을 가지고 있다[1-3]. 본 논문에서는 Comblin 구조를 사용하여 ISM 대역통과 필터를 저 비용으로 구현하였다. 제안된 필터는 각각 4층과 6층의 다층 인쇄회로기판에 집적하였다.

2. 본 론

2.1 Comblin 필터

이동통신의 발달과 인터넷의 활성화로 인해 수많은 제품에 통신모듈이 장착되기 시작했으며 모듈의 개발에 있어서 가격과 성능을 만족시키는 필터가 요구되고 있다. 현재 그러한 요구에 가장 부합되는 필터 중의 하나로는 표면탄성과 필터를 들 수 있다. 표면탄성과 필터는 30MHz에서 3GHz 까지의 가용주파수를 가지고 있으나 최근 5GHz 이상의 주파수에서도 그 신뢰도를 인정 받고 있다. 뛰어난 감쇠 특성을 가지고 있으며 최소 0.8% 의 좁은 대역폭을 나타내는 등 필터로서의 좋은 특징을 가지고 있지만 모듈에 장착되기에는 비교적 높은 비용과 표면탄성파라는 특징이 시스템 집적화라는 최근의 개념에 적합하지 못한 면도 있다. Coaxial resonator 필터는 통과대역에서의 낮은 손실과 좋은 감쇠 특성, 쉬운 가공 기술로 인해 그 성능을 인정받지만 큰 사이즈로 인해 이동성을 강조하는 추세에 부합되지 않는 실정이다. 본 논문의 시발점이 되는 기존의

2.2 ISM 대역 통과 필터의 설계와 측정

스트립 라인을 사용한 Comblin 필터는 개략적으로 그림 1과 같은 구조를 가진다. 커플링된 두 개의 스트립 라인을 한 단은 접지된 상태이고 나머지 한 단은 커패시터가 부착된 상태로 접지되어 있다. 스트립 라인의 길이는 유전율이 4.5인 경우 실제 파장의 1/4 인 31.3mm 가 되어야하지만 커패시터를 부하 하여 전기적 길이를 확장하여 실제 필터의 크기를 최소화하였다. Comblin 필터에 관한 이론은 G. L. Matthaei 에 의해 정리[1] 되었고 이후 E. G. Cristal 에 의해 발전되었다 [2],[5]. 전체적인 계산 과정은 다음과 같다. 기본형 필터, 공진기의 수와 공진 선로의 전기적 길이, 대역폭과 어드미턴스 Y_{ok} 를 결정한 뒤 다음과 같이 계산한다.

$$F(\theta_0) = \frac{\cot \theta_0 + \theta_0 \csc^2 \theta_0}{2}$$

$$a_{01} = \left(\frac{w}{g_0 g_1 \omega'}\right) \left(\frac{Y_{o1}}{Y_B}\right) F(\theta_0)$$

$$a_{n,n+1} = \left(\frac{w}{g_n g_{n+1} \omega'}\right) \left(\frac{Y_{on}}{Y_B}\right) F(\theta_0)$$

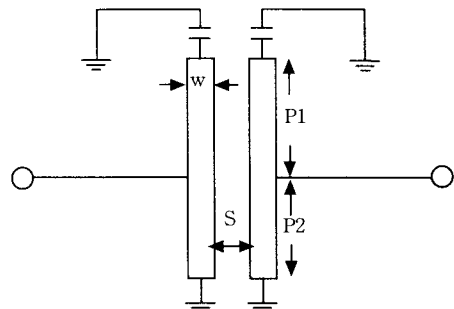


그림 1. Comblin 필터의 기본 구조

집적 형태	4층 PCB (mm)		6층 PCB (mm)
	μ -stripline	Stripline	Stripline
W	0.1	0.1	0.2
S	0.7	0.1	0.1
P1	1.03	1.95	1.74
P2	1.14	0.45	0.75

표 1. 그림1에서의 실제 치수

· 아래의 식으로부터 일반화된 susceptance를 구한다.

$$\frac{B_{A1}}{Y_A} = \frac{\omega_0 C_{al}}{Y_A} \text{ and } \frac{B_{nB}}{Y_B} = \frac{\omega_0 C_{nB}}{Y_B}$$

B_{A1}/Y_A 는 그림 3을 사용하여 구할 수 있다. B_{nB}/Y_B 또한 유사한 방법으로 구한다.

· 이렇게 하여 얻은 값으로

$$\frac{b_k}{Y_a} \Big|_{k=2 \text{ to } n-1} = \frac{Y_{ak}}{Y_A} F(\theta_0)$$

$$\frac{J_{k,k+1}}{Y_A} \Big|_{\text{for } k=1 \text{ to } n-1} = \frac{w_1}{w_1} \sqrt{\frac{(b_k/Y_A)(b_{k+1}/Y_A)}{g_k g_{k+1}}}$$

을 각각 계산한다.

· 일반화된 상호 커패시턴스를 다음의 식으로 계산한다.

$$\frac{C_{k,k+1}}{\epsilon} \Big|_{\text{for } k=1 \text{ to } n-1} = \frac{376.7 Y_A}{\sqrt{\epsilon_r}} \left(\frac{J_{k,k+1}}{Y_A} \tan \theta_0 \right)$$

· 일반화된 자기 커패시턴스를 다음의 식으로 계산한 뒤

$$\frac{C_1}{\epsilon} = \frac{376.7 Y_A}{\sqrt{\epsilon_r}} \left(\frac{Y_{al}}{Y_A} - \frac{J_{12}}{Y_A} \tan \theta_0 \right)$$

$$\frac{C_k}{\epsilon} \Big|_{k=2 \text{ to } n-1}$$

$$= \frac{376.7 Y_A}{\sqrt{\epsilon_r}} \left(\frac{Y_{ak}}{Y_A} - \frac{J_{k-1,k}}{Y_A} \tan \theta_0 - \frac{J_{k,k+1}}{Y_A} \tan \theta_0 \right)$$

· 부하될 커패시턴스를 아래의 식을 사용해 구한다.

$$C_{1s} = \frac{Y_A}{\omega_0} \left(\frac{Y_{al}}{Y_A} \right) \cot \theta_0 - \frac{B_{al} Y_A}{1 + (B_{A1}/Y_A)^2}$$

$$C_{ns} = \frac{Y_B}{\omega_0} \left(\frac{Y_{an}}{Y_A} \right) \cot \theta_0 - \frac{B_{nB} Y_A}{1 + (B_{nB}/Y_A)^2}$$

앞의 계산 단계를 거쳐 도식적인 필터의 형태를 구한 다음, 시뮬레이션을 통해 사용 주파수에서의 필터의 성능을 최적화하기 위한 정확한 구조적 파라미터를 계산하였다. 그림 2는 시뮬레이션 상으로 나타난 필터의 특성으로 커플링된 두 스트립 라인의 공간에 따른 필터 특성변화를 나타낸 것이다. 시뮬레이션에서는 Ansoft사의 Serenade가 사용되었다. 표 1은 그림 1에서 변수로 나타낸 각 파라미터 값의 계산 결과이다.

실제 제작된 필터는 4층과 6층 PCB에 집적화 되었으며 PCB의 사양은 표 2에 나타내었다[1]. 그림 4는 지금까지 언급한 결과를 바탕으로 실제로 제작된 필터를 보여주고 있다. 실제 크기는 스트립 라인 양단에 부착된 커패시터의 크기를 포함하여 가로 2mm, 세로 3.5 mm 이다.

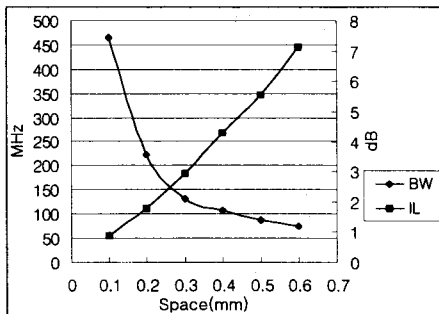


그림 2. 공간 변화에 따른 필터 특성 변화

파라미터	4층 PCB		6층 PCB	
	두께 (μ m)	재료(유전율)	두께 (μ m)	재료(유전율)
layer1	24.1	Copper	36	Copper
dielectric1	59	RCC(3.16)	122.9	RCC(3.16)
layer2	51	Copper	11.8	Copper
dielectric2	307	FR4(4.03)	208.3	FR4(4.03)
layer3	51	Copper	11.8	Copper
dielectric3	46	RCC(3.16)		RCC(3.16)
layer4	24.1	Copper	11.8	Copper
dielectric4	x			FR4(4.03)
layer5	x	Copper	11.8	Copper
dielectric5	x			RCC(3.16)
layer6	x	Copper	36.9	Copper

표 2. 집적된 PCB의 세부 사양

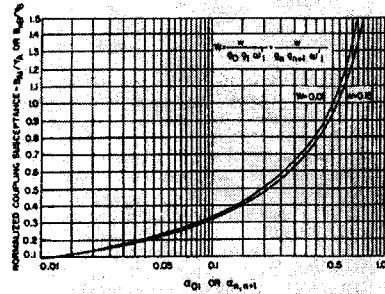
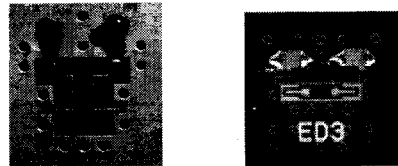


그림 3. 일반화된 susceptance chart



(a)마이크로 스트립 형태 (b) 스트립 형태

그림 4. 실제 제작된 Combline 필터

측정은 Microtech사의 간격 400 μ m Ground-Signal-Ground 형태의 Probe tip을 통해 HP8510C network analyzer를 사용하였다. 측정결과는 각각 그림 5, 6, 7에 나타내었다. 측정결과를 보면 2.4GHz 전후로 통과대역이 형성되는 것을 명확히 볼 수 있으며 삽입 손실 또한 최소 1.5dB 정도의 좋은 성능을 보이고 있다.

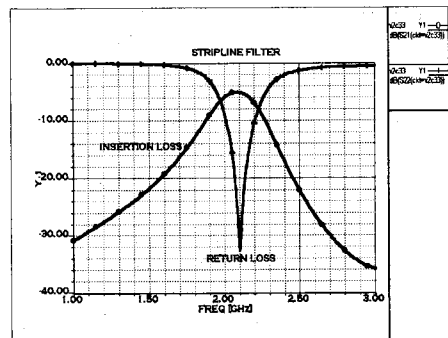


그림 5. 4층 기판을 사용한 Stripline 형태의 combline 필터의 측정 결과

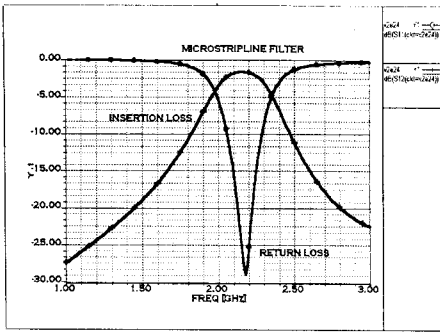


그림 6. 4층 기판을 사용한 Micro stripline 형태의 Comblin 필터의 측정결과

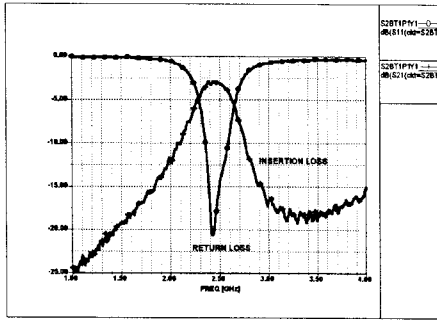


그림 7. 6층 기판에 집적된 스트립라인 형태의 Comblin filter 측정결과

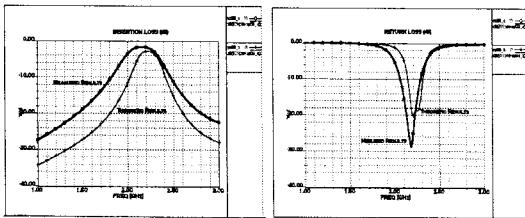


그림 8. 4층 기판에 집적된 마이크로 스트립라인 필터의 계산 결과와 측정 결과

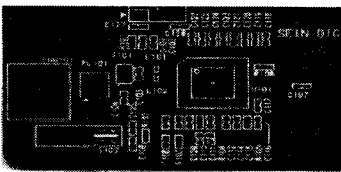


그림 9. 실제 구현된 Bluetooth 테스트 모듈(3cm*4cm)

이는 그림 8에서 보는 바와 같이 측정된 결과가 계산된 결과와 유사한 데이터를 나타내고 있기 때문에 Bluetooth 나 Wireless LAN 과 같은 2.4GHz 대역을 사용하는 통신모듈에 실제 사용이 가능함을 알 수 있다. 그림 9는 실제 Bluetooth 모듈에 집적된 모습이다. 다른 공정과의 부합이라는 제약 없이 최적의 기판 사양을 조절할 경우 그림 10과 같이 삽입손실 0.8dB, 대역폭 3%의 결과를 도출 할 수 있다.

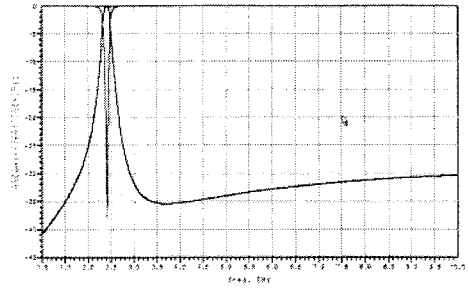


그림 10. 최적의 성능으로 구현한 필터의 특성

3. 결 론

2.4GHz 대역에서 사용할 수 있는 Comblin 구조의 마이크로파 필터를 마이크로 스트립 라인과 스트립 라인을 사용하여 여러 형태로 제작 및 측정하였다. 제작에 이용된 기판은 RCC 와 FR4 에폭시를 유전체로 사용하였으며 전도체로서 구리를 사용하였다. 제작된 필터는 대부분 유사한 결과를 나타내며 이론치에 근접하였다. 삽입손실과 대역 폭, 중심 주파수 와 같은 필터의 주요 성능을 구조적 변화를 통해 각기 다른 환경에서 유사한 특성을 구현하였으며 이는 여러 응용제품과의 부합성이 뛰어나다는 사실을 뒷받침해 주고 있다. 시뮬레이션을 통한 분석에서는 5GHz 이상의 주파수에서도 사용할 수 있음을 확인하였다. 필터 자체의 특징은 표면 탄성과 필터와 비교하였을 때 훨씬 작은 비용이 투입되며 스트립 라인을 사용할 경우 기판 내에 삽입되므로 점유 면적을 최소화할 수 있어서 초소형 패키징이 가능하다. 하지만 표면 탄성과 필터가 최소 0.8%의 대역폭을 가지는 데 반해 집적형 Comblin 필터는 광대역 폭을 가지는 특징이 있다. 또한 집적형 Comblin 필터는 일반적으로 사용하고 있는 인쇄회로기판 공정 이외에도 MMIC 와 같은 박막필름의 공정에도 집적화가 가능하여 시스템 통합의 기술 추세에 적극 부합될 것이다.

(참 고 문 헌)

- [1] G. L. Matthai, "Comblin band-pass filters of narrow or moderate bandwidth," *Microwave J.*, vol. 6, pp.82-91, Aug.1963.
- [2] E. G. Cristal, "Capacity coupling shortens comb-line filters," *Microwaves*, vol. 6, pp.44-50, Dec.1967.
- [3] R. J. Wenzel, "Synthesis of Comblin and Capacitively Loaded Interdigital Bandpass Filters of Arbitrary Bandwidth", *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Aug., pp. 678-686 1971
- [4] S. Wing, "Microstrip tapped-line filter design", *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Vol. MTT-27, no. 1, pp. 44-50, Jan. 1979.
- [5] E. G. Cristal, "Tapped-line coupled transmission lines with applications to interdigital and comblin filter". *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Vol. MTT-23, pp. 1007-1012, Dec. 1975.
- [6] H. -W. Yao, C. Wang, and K. A. Zaki, "Quarter wavelength ceramic comblin filters", *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Vol. 44, No. 12, Dec. 1996.
- [7] Y.J. Kim, M.H. Son, S.S. Lee "Low cost realization of ISM BPF using integrated comblin structures" *RAWCON 2000*, 2000 IEEE, pp 261-264