

Comblin 구조의 대역통과 필터가 내장된 기능형 PCB

김 준연, 손 미현*, 정 원교**, 김 용준

연세대학교 기계전자 공학부, 삼성 종합 기술원*, 세인 디지컴**

Abstract

Comblin 구조를 가진 마이크로 스트립 라인 또는 스트립 라인 필터를 내장한 기능형 PCB를 제작하였다. 저 비용 구현 및 이동성과 휴대성을 강조하기 위해 기존의 세라믹 대신 FR4와 에폭시를 유전체로 사용하는 저가형 다층 회로 기판의 도체 층에 집적화 하였다. Comblin의 각 끝단에 커패시터를 부하함으로써 전기적 길이를 확장하였고 전체적인 크기를 감소시킴으로써 적당한 필터 특성을 얻을 수 있었다. 구현된 Embedded PCB는 마이크로파 대역에서 사용 가능하며 특히 Bluetooth 나 Wireless LAN과 같은 ISM 대역을 사용하는 무선통신소자로서 사용 가능하다.

1. Introduction

인터넷의 등장과 무선 통신의 발달로 블루투스나 Wireless LAN과 같은 많은 응용제품들이 등장하였으며 이에 따른 소형화를 위해 시스템 집적화 기술의 발전은 더욱 중요시되고 있다. 회로의 집적화 기술과 동반하여 시스템 패키징 기술도 중요한 요소로 부상되었으며 그 대표적인 패키징 기술 발전의 예로 기능형 PCB를 들 수 있다. 기능형 PCB는 단순히 신호만 전달하는 기존의 PCB와는 달리 저항, 커패시터, 인덕터 등을 포함한 Embedded PCB를 의미하며 각 수동 소자들의 개선된 기능 뿐 아니라 비용 절감의 효과도 가져올 수 있다. 하지만 현재 통신용으로 사용되는 PCB는 TCT(Thermal Capacitance Technology), MFC(Multi Frequency Control), MIC(Multi Impedance Control) 등 특수 PCB 설계기술이 요구되기 때문에 비용 면에 있어서 큰 이점을 가지지 못하며 집적되는 소자 또한 기본적인 수동 소자로 한정되어 있는 실정이다. 블루투스나 Wireless LAN과 같은 통신 모듈에서는 필터와 같이 비교적 가격비중이 큰 소자가 내장된 기능형 PCB가 전체 모듈의 저 비용 구현에 적극적으로 부합된다. 본 논문에서는 집적될 필터의 형태로 Comblin 구조를 사용하였으며 이는 기존의 Comblin 필터가 가지는 고주파에서의 안정성, 급격한 감쇠 특성 등을 그대로 가지면서 동시에 기존 Comblin 필터의 단점인 큰 사이즈를 소형화하여 일반적으로 사용되고 있는 FR4/에폭시 기반의 다층 PCB에 내장시킴으로서 저가의 기능형 PCB를 구현하였다. 제안된 필터는 각각 4층과 6층의 다층 기판에 집적되었다.

2. Experimental

마이크로파 패키징에 있어서 수동 소자의 집적화는 크기와 비용의 문제 그리고, 칩 형태의 수동 소자보다 더 높은 안정성과 가용주파수 등의 구현목적에서 시작되었다. 최근에는 마이크로 머시닝 기술을 사용한 마이크로 스케일의 커패시터, 인덕터 등이 등장하여 시스템 소형화에 근접하였지만[1] 실제 필터로 사용하기 위해 그림 1,2와 같이 모든 소자들을 집적화 시킬 경우 각 소자들이 각기 따로 위치함으로서 전체 모듈의 소형화를 이루지 못하고 공정만이 추가되는 부정적인 결과를 나타내었다.

이에 기존에 존재하던 필터 중에서 다층 PCB 공정과 부합되며 고주파 영역에서의 안정성을 확보하기 위해 Comblin 필터를 PCB에 집적시켰다. 그림 3에서 개략적으로 나타낸 집적형 Comblin 필터는 커플링된 두 개의 스트립라인의 한쪽 단은 접지시키고 나머지 한쪽 단은 커패시터가 부하된 상태

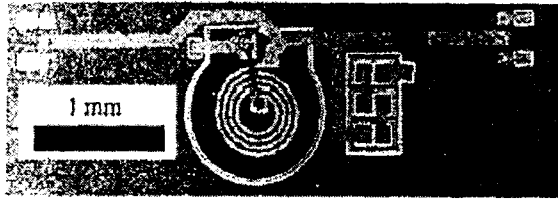


그림 1. 마이크로 스케일의 R-L-C 소자로 구성된 RF 필터

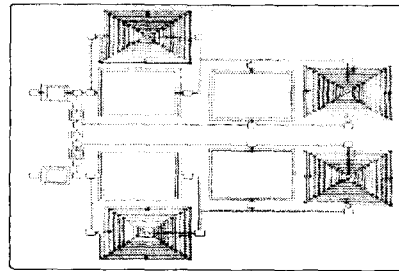


그림 2 세라믹 기판에 집적된 R-L-C IF 필터

로 접지되어 있다. 유전율이 4.03인 경우 스트립 라인의 길이는 실제 파장의 1/4 인 31.3mm 로 이
는 소형 모듈에 집적하기에는 부적당한 크기이기 때문에 커패시터를 부하하여 전기적 길이를 확
장하여 실제 필터의 크기를 최소화하였다.

Comblin 필터에 관한 이론은 G. L. Matthaei 에 의해 정리되었고[2], 이후 E. G. Cristal 에 의해
발전되었다[3],[6]. 전체적인 Design rule 은 다음과 같다.

· 기본형 필터, 공진기의 수와 공진 선로의 전기적 길이, 대역폭과 어드미턴스 Y_{ak} 를 결정한 뒤
다음과 같이 계산한다.

$$F(\theta_0) = \frac{\cot\theta_0 + \theta_0 \csc^2\theta_0}{2} \quad ; \quad a_{01} = \left(\frac{w}{g_0 g_1 \omega'_1}\right) \left(\frac{Y_{a1}}{Y_B}\right) F(\theta_0) \quad ; \quad a_{n,n+1} = \left(\frac{w}{g_n g_{n+1} \omega'_1}\right) \left(\frac{Y_{an}}{Y_B}\right) F(\theta_0)$$

· 아래의 식으로부터 일반화된 susceptance를 구한다.

$$\frac{B_{A1}}{Y_A} = \frac{\omega_0 C_{a1}}{Y_A} \quad \text{and} \quad \frac{B_{nB}}{Y_B} = \frac{\omega_0 C_{nB}}{Y_B}$$

B_{A1}/Y_A 는 그림 4를 사용하여 구할 수 있다. B_{nB}/Y_B 또한 유사한 방법으로 구한다.

· 이렇게 하여 얻은 값으로

$$\frac{b_k}{Y_a} \mid_{k=2 \text{ to } n-1} = \frac{Y_{ak}}{Y_A} F(\theta_0) \quad ; \quad \frac{J_{k,k+1}}{Y_A} \mid_{\text{for } k=1 \text{ to } n-1} = \frac{w}{w'_1} \sqrt{\frac{(b_k/Y_A)(b_{k+1}/Y_A)}{g_k g_{k+1}}}$$

을 각각 계산한다.

· 일반화된 상호 커패시턴스를 다음의 식으로 계산한다.

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

· 일반화된 자기 커패시턴스를 다음의 식으로 계산한 뒤

$$\frac{C_1}{\epsilon} = \frac{376.7 Y_A}{\sqrt{\epsilon_r}} \left(\frac{Y_{a1}}{Y_A} - \frac{J_{12}}{Y_A} \tan\theta_0 \right)$$

$$\frac{C_k}{\epsilon} \mid_{k=2 \text{ to } n-1} = \frac{376.7 Y_A}{\sqrt{\epsilon_r}} \left(\frac{Y_{ak}}{Y_A} - \frac{J_{k-1,k}}{Y_A} \tan\theta_0 - \frac{J_{k,k+1}}{Y_A} \tan\theta_0 \right)$$

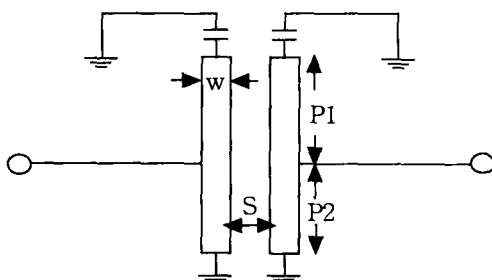


그림 3. Comblin 필터의 기본 구조

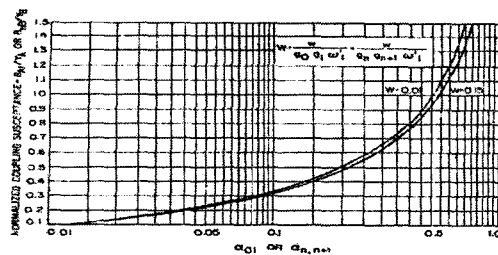
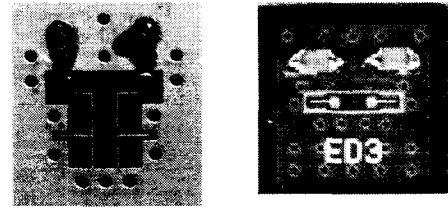


그림 4. 일반화된 Susceptance Chart

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



(a) 마이크로 스트립 형태 (b) 스트립 형태
그림 5. 실제 제작된 Compline 필터

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)	225.4	RCC(3.16)
layer4	24.1	Copper	11.8	Copper
dielectric4	x		208.3	FR4(4.03)
layer5	x	Copper	11.8	Copper
dielectric5	x		118	RCC(3.16)
layer6	x	Copper	36.9	Copper

표 2. 집적된 PCB의 세부 사양

부하될 커패시턴스를 아래의 식을 사용해 구한다.

$$C_{1s} = \frac{Y_A}{\omega_0} \left(\frac{Y_{a1}}{Y_A} \right) \cot \theta_0 - \frac{B_{a1}/Y_A}{1 + (B_{a1}/Y_A)^2} \quad ; \quad C_{n^*} = \frac{Y_B}{\omega_0} \left(\frac{Y_{an}}{Y_A} \right) \cot \theta_0 - \frac{B_{nB}/Y_A}{1 + (B_{nB}/Y_A)^2}$$

앞의 계산 단계를 거쳐 도식적인 필터의 형태를 구한 다음, 시뮬레이션을 통해 사용 주파수에서의 필터의 성능을 최적화하기 위한 정확한 구조적 파라미터를 계산하였다. 표 1은 그림 3에서 변수로 나타낸 각 파라미터 값의 계산 결과이다. 그림 6은 시뮬레이션 상으로 나타난 필터의 특성으로 커플링된 두 스트립 라인의 공간 변화에 따른 필터 특성변화를 나타낸 것이다. 실제 제작된 필터는 각기 4층과 6층 기판에 집적되었으며 집적된 PCB의 사양은 표 2에 나타내었다. 그림 5는 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.

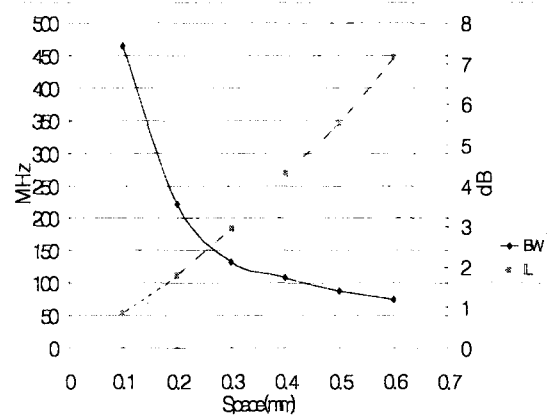


그림 6. 공간 변화에 따른 필터 특성 변화

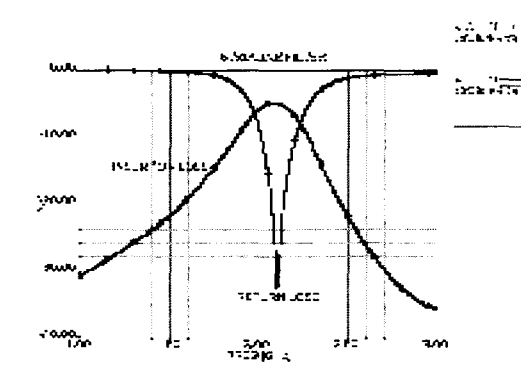


그림 7. 4층 기판을 사용한 Stripline 형태의 Compline 필터의 측정 결과

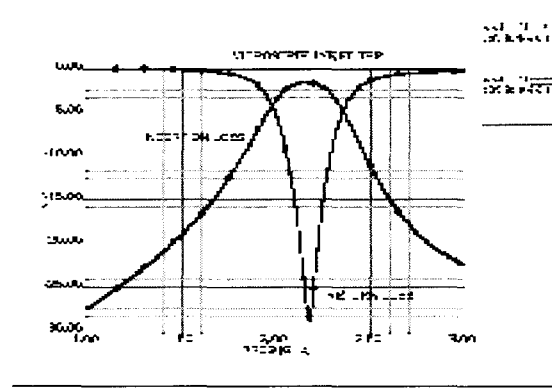


그림 8. 4층 기판을 사용한 Microstripline 형태의 Compline 필터의 측정 결과

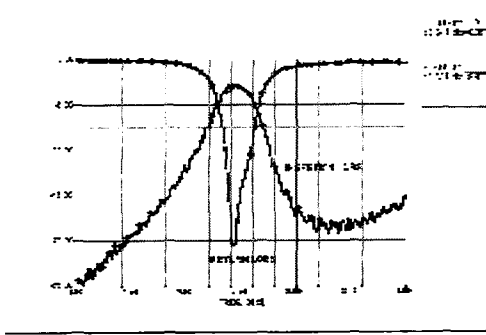


그림 9. 6층 기판에 집적된 스트립라인 형태의 Comblin filter 측정결과

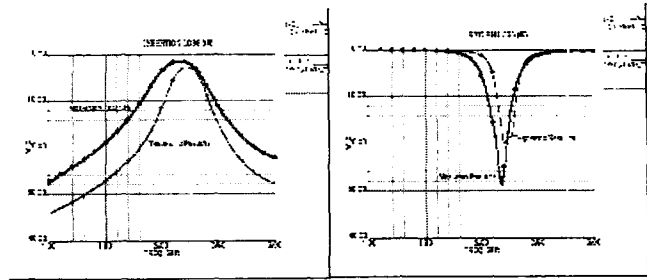


그림 10. 4층 기판에 집적된 마이크로 스트립라인 필터의 계산 결과와 측정 결과

측정은 Microtech 사의 간격 $400\mu\text{m}$ Ground-Signal-Ground 형태의 Probe-tip을 통해 HP8510C network analyzer를 사용하였다. 측정결과는 각각 그림 7,8,9에 나타내었다. 측정결과를 보면 2.4GHz 전후로 통과대역이 형성되는 것을 명확히 볼 수 있으며 삽입 손실 또한 최소 1.5dB 정도의 좋은 성능을 보이고 있다. 이는 그림 10에서 보는 바와 같이 측정된 결과가 계산된 결과와 유사한 데이터를 나타내고 있기 때문에 Bluetooth 나 Wireless LAN과 같은 2.4GHz 대역을 사용하는 통신모듈에 실제 사용이 가능함을 알 수 있다. 그림 11은 실제 Bluetooth 모듈에 집적된 모습이다. 다른 공정과의 부합이라는 제약 없이 최적의 기판 사양을 조절할 경우 그림 12와 같이 삽입 손실 0.8dB, 대역 폭 3%의 결과를 도출 할 수 있다.

3. Results and Discussion

2.4GHz 대역에서 사용할 수 있는 Comblin 구조의 마이크로파 필터가 내장된 기능형 PCB를 제작 및 측정하였다. 제작에 이용된 기판은 FR4와 구리로 이루어진 다층 회로 기판이다. 기능형 PCB에 내장된 필터는 각기 다른 형태와 기판에 집적되었음에도 불구하고 삽입손실과 대역 폭, 중심 주파수와 같은 필터의 주요성능은 구조적 변화를 통하여 유사한 결과를 나타내며 이론치에 근접하였다. 이는 앞에서 사용한 다층 PCB만이 아닌 유사한 특성의 다른 재질을 사용하였을 때도 PCB의 성능을 유지할 수 있으며 MMIC와 같은 박막필름의 공정에도 집적화가 가능하여 시스템 통합의 기술 추세에 적극 부합될 것이다. 가용주파수 역시 2.4GHz 대역 뿐 아니라 구조적 변화를 통해 5GHz 이상의 대역에서도 사용할 수 있다. 그 외에도 현재 가장 많이 사용되고 있는 표면 탄성과 필터와 비교하였을 때 Embedded PCB는 훨씬 작은 비용이 투입되며 스트립 라인을 사용해 기판 내에 삽입시킬 경우 초소형 패키징이 가능하다. RF측면에서는 표면탄성과 필터가 0.8%의 대역 폭을 가지는 데 반해 Embedded PCB 는 광대역 폭을 가지는 특징이 있으므로 광대역을 사용하는 응용제품에 적용이 가능하다.

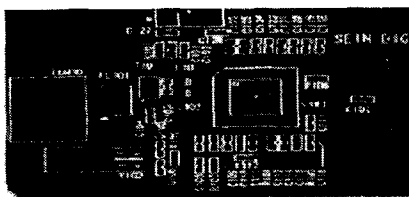


그림 11. 실제 구현된 Bluetooth 테스트 모듈(3cm*4cm)

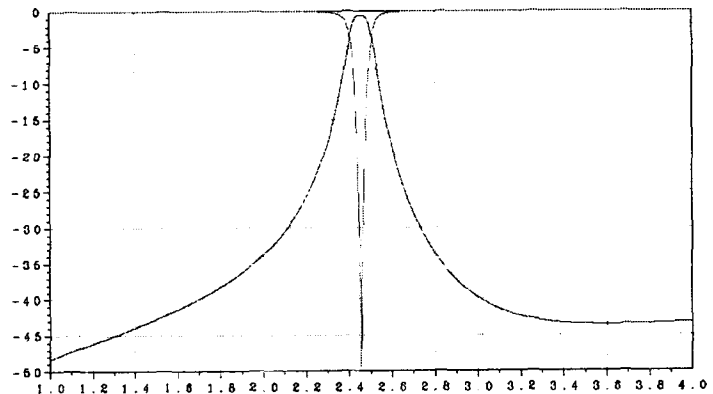


그림 12. 최적의 성능으로 구현한 필터의 특성

Acknowledgement

PCB 제작 및 기술적 도움을 주신 대덕전자에 감사드립니다.

References

- [1] Yong-Jun Kim, Mark. G. Allen "Surface micromachined solenoid type inductors for high frequency applications" IEEE Transactions on Components, Packaging, and Manufacturing Technology, Part C, 1998. 1.
- [2] G. L. Matthai, "Compline band-pass filters of narrow or moderate bandwidth," Microwave J., vol. 6, pp.82-91, Aug.1963.
- [3] E. G. Cristal, "Capacity coupling shortens comb-line filters," Microwaves, vol. 6, pp.44-50, Dec.1967.
- [4] R. J. Wenzel, "Synthesis of Compline and Capacitively Loaded Interdigital Bandpass Filters of Arbitrary Bandwidth", IEEE Trans, Microwave Theory Tech., Aug., pp. 678-686 1971
- [5] S. Wing, "Microstrip tapped-line filter design", IEEE Trans, Microwave Theory Tech., Vol. MTT-27, no. 1, pp. 44-50, Jan. 1979.
- [6] E. G. Cristal, "Tapped-line coupled transmission lines with applications to interdigital and compline filter", IEEE Trans, Microwave Theory Tech., Vol. MTT-23, pp. 1007-1012, Dec. 1975.
- [7] Y.J. Kim, M.H. Son, S.S. Lee "Low cost realization of ISM BPF using integrated compline structures" RAWCON 2000., 2000 IEEE, pp 261-264