

임베디드 PCB를 위한 수동부품의 특성 평가

홍순관*

요약

임베디드 PCB의 성능을 향상시키기 위하여 wrinkle 및 gap type 전극을 가진 커패시터를 제안하였다. Wrinkle type의 전극을 가진 커패시터는 기존의 커패시터 보다 40% 정도 높은 정전용량 밀도를 나타내었다. 또한 gap type 전극의 커패시터는 기존의 커패시터가 나타내는 1GHz보다 매우 높은 4GHz의 공진 주파수를 나타내었다. 나아가 전극의 간극 크기에 따라 공진주파수도 변화되었다. 유전 간극이 $50\mu\text{m}$ 인 gap type 전극 커패시터는 $55\text{pF}/\text{cm}^2$ 의 정전용량 밀도를 나타내는데 이는 기존의 임베디드 커패시터 보다 높은 값이다. 인덕턴스 가변용의 스위칭 트랜지스터를 가진 임베디드 인덕터는 우수한 품질계수 Q를 나타내었다.

Characterization of Passive Components for Embedded PCB

Soon-Kwan Hong*

ABSTRACT

Capacitors with wrinkle or gap type electrodes are proposed to improve the performance of embedded PCB(Printed Circuit Board). Capacitor with the wrinkle type electrodes represents more higher(about 40%) capacitance density than that of conventional embedded capacitor. And capacitor with gap type electrodes represents resonant frequency of 4GHz but a conventional embedded capacitor just represents resonant frequency of 1GHz. Also it is confirmed that resonant frequency can be changed by the gap size. Capacitor with gap type electrodes in which dielectric gap of $50\mu\text{m}$ showed capacitance density of $55\text{pF}/\text{cm}^2$. This value is higher than that of conventional embedded capacitor. Embedded inductor with switching transistors for inductance variation shows good quality factor Q.

Key Words : Embedded PCB, Capacitor, Inductor, wrinkle type electrode, Gap type electrode

* 혜전대학 디지털전자과(✉skhong@hj.ac.kr)

· 제1저자(First Author) : 홍순관 · 교신저자(Correspondent Author) : 홍순관

· 접수일(2011년 6월 8일), 수정일(1차 : 2011년 7월 7일), 게재확정일(2011년 7월 11일)

1. 서 론

저항, 커패시터, 인덕터와 같은 수동부품을 PCB (Printed Circuit Board) 내층에 형성하는 임베디드 (Embedded) PCB기술이 주목을 받고 있다[1~3]. 수동 부품은 PCB 기판에서 개수로는 약 90%를, 면적으로는 40% 정도를 차지한다. 따라서 수동부품을 PCB에 내장(Embedding)하면, 배선을 위한 여유 공간이 확보 되고, solder joint가 감소된다. 이에 따라 전자제품의 전기적인 신뢰성이 향상되고, 원가가 감소되는 장점이 나타나게 된다[4]. 수동부품이란 저항, 커패시터, 인덕터를 말한다. 저항은 paste 재료를 인쇄하는 방법으로, 커패시터는 고유전율 재료 양면에 전극을 형성하는 방법으로, 인덕터는 구리배선을 나선 형태로 형성하는 방법으로 각각 구현된다. 그림 1은 실제로 제작된 임베디드 수동부품(R, L, C)의 모습이다.

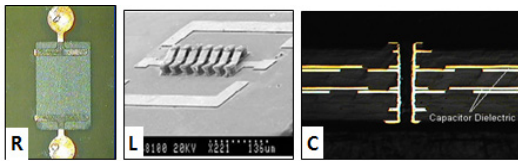


그림 1. 임베디드 수동부품(R, L, C)
Fig. 1 Embedded Passive Components(R, L, C)

임베디드 저항은 저항성 재료를 인쇄하거나 코팅하여 원하는 용량을 쉽게 구현할 수 있다. 반면에 커패시터와 인덕터는 저항에 비하여 회로에 적용할 수준의 성능을 가진 부품을 잘 구현하지 못하고 있다[5]. 임베디드 커패시터의 경우에는 기존의 실장형보다 높은 정전용량(Capacitance)을 구현하지 못하고 있고, 고주파 영역에서 임피던스가 높다는 점이 문제점을 가지고 있다[6]. 임베디드 인덕터는 입체적인 전극구조를 구현하는데 어려움이 있다. 또한 다양한 인덕턴스 용량을 구현하기 어렵기 때문에 수동부품 중에서 가장 실용화가 늦어지고 있다[7~10]. 특히 다양한 인덕터를 필요로 하는 모바일 전자기기의 경우에는 임베디드

인덕터의 구현이 기기의 성능향상에 매우 중요하다.

이상에서 기술한 임베디드 커패시터와 인덕터의 문제점 때문에 현재는 임베디드 저항을 구현한 PCB가 주로 생산되고 있다.

본 연구에서는 임베디드 PCB용 기판 개발에 걸림돌이 되고 있는 커패시터와 인덕터의 문제점을 개선하기 위하여 커패시터의 정전용량을 높이고 고주파 특성을 개선할 수 있는 방안을 제시한다. 이를 위해 커패시터의 전극구조를 변경하여 성능 개선을 시도하였다. 임베디드 인덕터는 인덕턴스의 가변성이 매우 중요하며, 이를 위하여 스위칭 트랜지스터로 인덕턴스를 가변할 수 있는 switching type 인덕터를 제안하고, 그 특성을 평가하였다.

II. 임베디드 커패시터

그림 2는 임베디드 커패시터의 전극구조를 나타낸 그림이다. 그림 2의 (a)는 본 연구에 따른 커패시터로서 wrinkle type의 전극을 가지고 있다. 그림 2의 (b)는 기존의 커패시터로서 그림과 같이 평면형의 전극을 가지고 있다.

그림 3은 wrinkle type 전극의 구조를 입체적으로 나타낸 그림이다. 그림과 같이 전극을 굴곡지게 형성함으로써 정전용량에 영향을 미치는 전극면적을 확대하고자 한다.

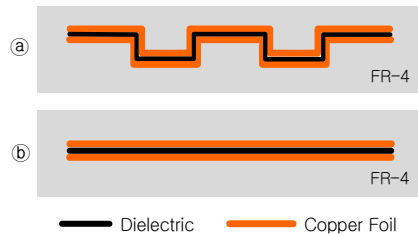


그림 2. 전극 구조의 비교
Fig. 2 Comparison of Electrode Structure

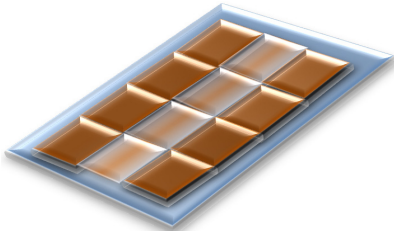


그림 3. 요철 전극을 가진 임베디드 커패시터
Fig. 3 Embedded Capacitor with Wrinkled Electrodes

FEMM으로 전위분포를 분석하여 전극구조에 따른 임베디드 커패시터의 특성변화를 확인하였다. 전극은 두께 $17\mu\text{m}$, 크기 $1000\mu\text{m}\times 1000\mu\text{m}$ 인 동박(Copper Foil)을 적용하였고, 요철부의 깊이는 $50\mu\text{m}$ 로 하였다. 유전체는 비유전율이 43인 BaTiO₃ + Epoxy이다. 그림 4는 전위분포로서 평면 전극 및 wrinkle type 전극 모두 유전체에 전기력선이 밀집되어 있다.

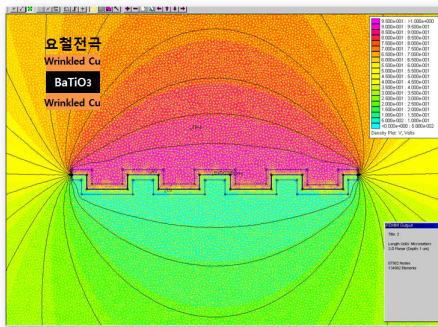


그림 4. 전위 분포
Fig. 4 Potential Distribution

전위분포로부터 정전용량 밀도를 구할 수 있으며, 이를 표 1에 보였다. 동일한 유전체일 때 전극구조에 따라 정전용량 밀도가 다르다. Wrinkle type은 기존의 평면 전극에 비하여 정전용량 밀도가 40% 정도 향상되었다. 또한 유전체가 박막($2\mu\text{m}$)일 때 보다 후막($20\mu\text{m}$)일 때 전극 간격이 감소됨으로 인하여 더 큰 정전용량 밀도가 나타난다.

표 1. 정전용량 밀도
Table 1 Capacitance Density

유전체	전극 구조	정전용량 밀도 [nF/cm ²]
2 μm	wrinkle	2660
	평면	1906
20 μm	wrinkle	240
	평면	191

그림 5는 본 논문에서 주파수특성을 개선하기 위하여 제안한 2개의 전극이 서로 대면하고 있는 gap type 임베디드 커패시터이다. 전극으로 두께가 $35\mu\text{m}$, 크기 $2000\mu\text{m}\times 2000\mu\text{m}$ 인 동박을 적용하였다. 유전체는 두께가 $20\mu\text{m}$ 이고 비유전율이 25인 BaTiO₃ + Epoxy이다. FR-4의 두께는 $35\mu\text{m}$ 이다.

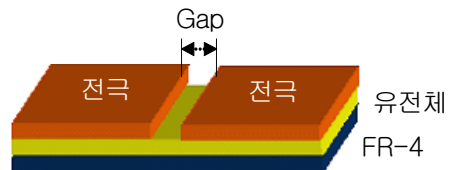


그림 5. 임베디드 커패시터(Gap Type)
Fig. 5 Embedded Capacitor(Gap Type)

HFSS로 gap type 커패시터의 고주파 디커플링(Decoupling) 특성을 평가하였다. 그림 6은 기존의 평면전극(그림에 planar로 표시) 및 간극(Gap)이 $50\mu\text{m}$ 인 gap type(그림에 '50 μm 로 표시) 임베디드 커패시터의

임피던스 특성이다.

평면전극 커패시터는 임피던스가 0으로 떨어지는 공진주파수가 1GHz이다. 반면에 gap type 커패시터는 4GHz의 높은 공진주파수를 나타낸다. 이러한 특성의 변화는 2개의 전극이 마주 보는 대향전극 구조에 기인한 것으로 판단된다. 이를 확인하기 위하여 그림 7과 같이 전극간의 간극 크기를 변화시켜 보았다. 그림 7은 간극을 50~300 μm 로 변화시킬 때 공진주파수의 변화이다. 간극이 증가하면 공진주파수는 높은 주파수 대역으로 이동한다. 이는 “간극 증가 \rightarrow 전극 간격 증가 \rightarrow 정전용량 및 전극면적 감소 $\rightarrow L_{ESL}$ (기생 인덕턴스) 감소”의 과정을 통하여 공진주파수가 이동하기 때문이다.

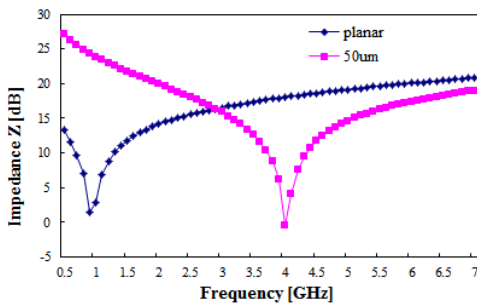


그림 6. 전극구조에 따른 공진주파수
Fig. 6 Resonance Frequency according to Electrode Structure

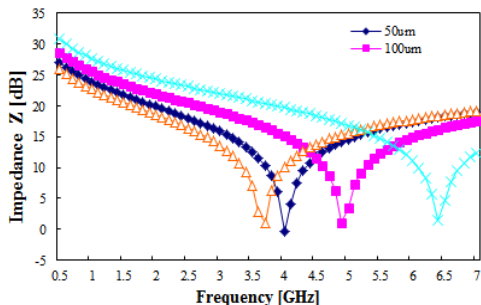


그림 7. 간극크기에 따른 공진주파수 변화
Fig. 7 Variation of Resonance Frequency as a function of Gap Size

공진주파수를 가변할 수 있다는 것은 고주파를 비롯한 다양한 주파수의 신호에 대하여 본 연구에 따른 임베디드 커패시터를 디커플링 용도로 사용할 수 있음을 의미한다.

그림 8은 gap type 커패시터에서 간극의 크기에 따른 정전용량 변화이다. 간극이 증가하면 전극면적은 감소되고, 전극 간격이 증가하여 정전용량이 감소된다. Gap type 임베디드 커패시터의 정전용량은 예를 들어 간극의 크기가 50 μm 일 때 cm^2 당 55 pF을 나타낸다. 동일한 조건의 기존 평면 전극 커패시터는 25pF의 값을 나타낸다.

이는 gap type 커패시터가 그림 2에 보인 wrinkle type 커패시터에 비해서는 정전용량 밀도가 낮지만, 기존의 커패시터에 비해서는 특성이 우수함을 나타낸다.

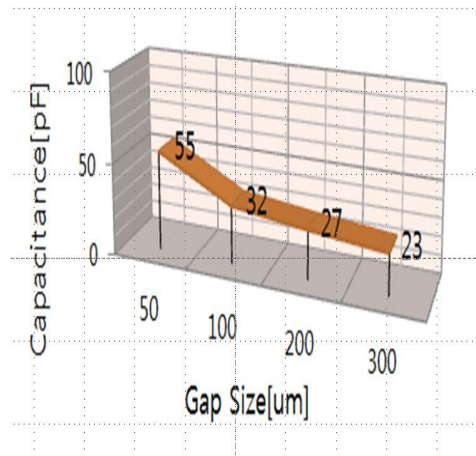


그림 8. 간극의 크기에 따른 정전용량
Fig. 8 Capacitance versus Gap Size

Gap type 커패시터가 기존의 평면 전극 커패시터에 비해서 더 큰 정전용량을 나타내는 이유는 전극 아래에 위치한 FR-4 층(그림 5 참조)이 유전체로 함께 작용하기 때문으로 해석된다.

III. 임베디드 인덕터

그림 9는 switching type 임베디드 인덕터의 구조이다. 이는 기존의 임베디드 인덕터와 유사한 spiral 구조를 가지고 있다. 다른 점은 전체 인덕터 배선이 하나로 연결되어 있지 않고 중간에 스위칭 트랜지스터가 연결되어 있다는 점이다. 트랜지스터를 on/off 함으로써 인덕터 배선의 형태와 길이를 조절할 수 있다. 이렇게 하면 임베디드 인덕터의 인덕턴스를 가변할 수 있으며, 이를 이용하면 여러 가지 값을 갖는 인덕터를 대신하여 하나의 인덕터만으로 전자기기의 회로를 구성할 수도 있다. 1GHz~10GHz의 주파수에 대하여 switching type 인덕터의 S파라미터(Scattering Parameter) S11과 S21을 분석하였다. S11은 입력반사계수(Input Reflection Factor)이고, S21은 전송계수(Transmission Factor)이다.

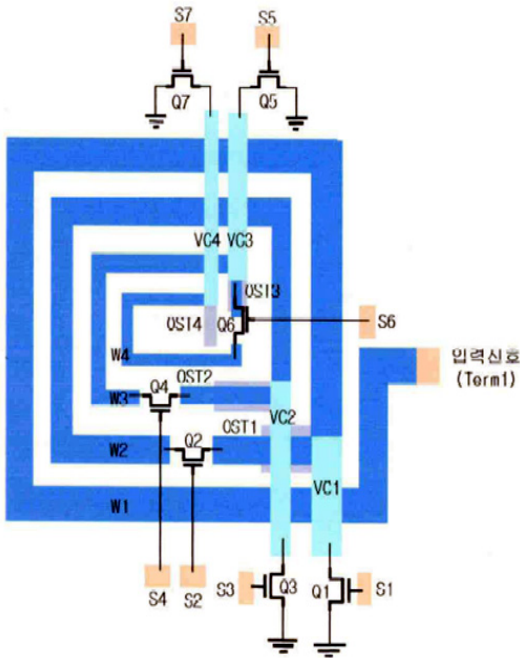


그림 9. Switching Type 임베디드 인덕터
Fig. 9 Switching Type Embedded Inductor

그림 10은 인덕터의 역 어드미턴스($1/Y_{11}$)의 실수부(Real Part)의 특성이다. 최대값이 나타나는 주파수가 인덕터의 병렬 공진주파수이며, 그 값은 약 5.2GHz이다. 그림 11은 역 어드미턴스($1/Y_{11}$)의 허수부(Imaginary Part)의 특성으로, 병렬 공진주파수는 약 5.6GHz이다. 그림 10과 그림 11은 결국 switching type 임베디드 인덕터의 입력 임피던스(Z_{11})를 나타내며, 이들 간의 비율이 인덕터의 성능(주파수 선택특성)을 나타내는 파라미터인 품질계수 Q가 된다. 그림 12는 본 논문에서 제안한 switching type 인덕터의 품질계수 Q로서 4.5GHz인 공진주파수에서 높은 선택도를 나타내고 있다.

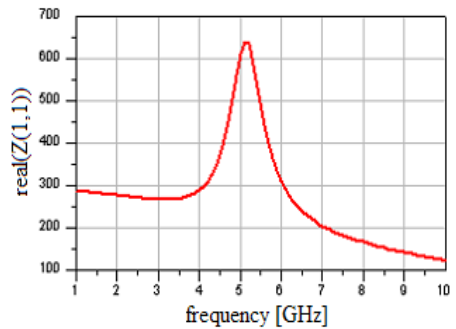


그림 10. 주파수에 따른 실수부의 변화
Fig. 10 Real Part versus Frequency

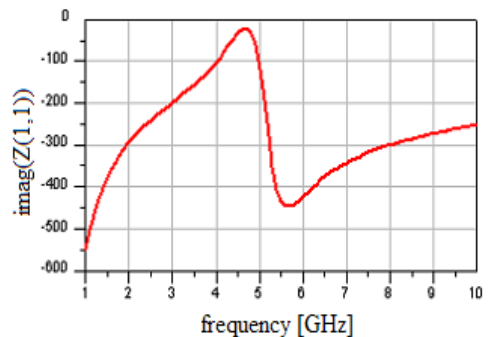


그림 11. 주파수에 따른 허수부의 변화
Fig. 11 Imaginary Part versus Frequency

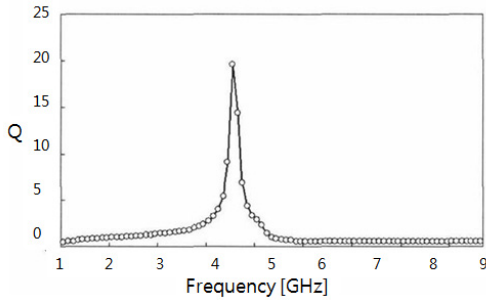


그림 12. Switching Type 인덕터의 품질계수 Q
Fig. 12 Quality Factor Q of Switching Type Inductor

IV. 결론

본 논문에서 제안한 wrinkle type 전극을 적용하면 기존의 평면형 전극을 가진 임베디드 커패시터에 보다 정전용량을 40% 정도 향상시킬 수 있다. 또한 gap type 전극을 가진 커패시터는 공진주파수가 1GHz에서 4GHz로 개선되었고, 간극에 따라 공진주파수를 가변할 수 있어 고주파를 비롯한 다양한 신호의 디커플링이 가능하다는 장점도 나타내었다. 따라서 본 연구에 따른 임베디드 커패시터를 적용하면 임베디드 PCB의 상용화에 도움이 될 것이다. 스위칭 트랜지스터를 on/off 시켜 인덕턴스를 가변할 수 있는 switching type 인덕터는 우수한 품질계수 특성을 나타내었다. 이를 모바일 기기에 적용하면 여러 개의 인덕터를 하나로 줄일 수 있어 성능을 확보하면서도 공간적인 제약을 해결할 수 있다.

참고문헌

[1]C. S. Ryu, “Embedded PCB Technology and Market Trend”, *KPCA Show International Symposium Proceeding*, pp. 107~116, 2005.
[2]Peter A. Sandborn, “A Review of the Economics of

Embedded Passives”, *Proceedings of InterPACK03: International Electronic Packaging Technical Conference*, pp.123~129, 2003
[3]전자부품연구원 기술정책실, “EPC(Embedded passive Components) PCB”, *전자부품연구원 전자정보센터*(www.eic.re.kr), 2008
[4]W. Yu, B. Sc., “Optimization of Spiral Inductors and LC Resonators Exploiting Space Mapping Technology”, Thesis Degree Master of Applied Science, Department of Electrical and Computer Engineering, McMaster Univ., 2006.
[5]R. Ulrich, “Integrated Passive component technology”, IEEE Press, pp.55~74, 2003.
[6]Manoj kumr Damani, “Physics Based Reliability Assessment of Embedded Passives”, Master Thesis, Georgia Institute of Technology, 2004.
[7]S. R. Kythakyapuzha, “Modeling of Spiral Inductors and Transformers”, Thesis degree of Master of Science, Department of Electrical Engineering and Computer Engineering, Kansas State Univ., 2004.
[8]D.W Shin, C.H Oh, and K.H. Kim, and I.G Yun, “Characteristic Variation of 3-D Solenoid Embedded Inductors for Wireless Communication Systems”, *ETRI Journal*, Vol. 28, No.3, pp.347~354, 2006
[9]Hwan H. Lee and Jae Y. Park, “Fully Embedded High Q Circular Stacked Spiral Inductors into Organic Substrate”, *Microwave and Optical Technology Letters*, Vol. 49, No. 5, pp. 1074-1077, 2007
[10]Kevin J. Chen, KwokWai Chan, Michael K.W.Wong, “High-Performance Large-Inductance Embedded Inductors in Thin Array Plastic Packaging for RF System-in-Package Applications”, *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, Vol. 14, No. 9, pp. 449-451, 2004

감사의 글

본 논문은 2009년도 해전대학 교내학술연구비 지원에 의한 연구 결과입니다.

저자소개



홍순관(Soon-Kwan Hong)

1987년 서울시립대학교 전자공학과
(공학사)

1989년 서울시립대학교 대학원
전자공학과(공학석사)

1994년 서울시립대학교 대학원
전자공학과(공학박사)

1994년 9월~현재 해전대학 디지털전자과 부교수

※ 관심분야: MEMS, PCB(전자회로기판), 전자회로