

다층 구조를 갖는 LTCC기술에서 나선형 인덕터로 인한 혼신 해석

김성남, 김경철*, 조현민*, 한치전**, 양형국**, 이 해 영

아주대학교 전자공학부

*KETI/ **SAWNICS

전화 : 031) 219-2415 / Fax : 031) 212-953

Crosstalk Analysis of the Spiral Inductor in LTCC

Seong-nam kim, Gyung-Chul Kim*, Hyun-Min Cho*,

Chi-jeon Hwang**, Hyung-kook Yang** and Hai-Young Lee

Department of Electronics Engineering, Ajou Univ.

*KETI/ **SAWNICS

E-mail : doggaebi@ajou.ac.kr, kckim@keti.re.kr, chomin@nuri.keti.re.kr ,

cjhwang@sawnics.com, yanghk@sawnics.com hylee@ajou.ac.kr

Abstract

It is possible to design the high performance, integration and low cost radio frequency components by using LTCC(Low Temperature Cofired Ceramic) technology. But there is a critical point to design the spiral inductor because of crosstalk effects. So, the crosstalk effect of the spiral inductor are investigated using full-wave analysis of the FEM(Finite Element Method) in this paper. The results show that input power of the spiral inductor are coupled from 0.1% to 10% above 3GHz. Therefore, we should consider the crosstalk effects when we design the LTCC

Key words: LTCC, spiral inductor, crosstalk

I. 서론

무선 통신 기술의 발전에 따른 시스템의 다기능은 통신 기기의 고집적화, 저가격화를 야기 하였다. 이에 따라 낮은 가격에 집적도를 높일 수 있는 LTCC(Low Temperature Co-fired Ceramics) 기술이 중요한 소자 설계 방법으로 대두되고 있다^[1].

LTCC 기술을 이용할 경우 하나의 구조에 여러 수동 소자들(R, L, C, Filter, Balun 등)을 다층으로 집적 함으로써 소형의 통신 시스템을 제작할 수 있다^[2]. 또한 그

런시트(green sheet)의 낮은 유전체 손실과 내부 전송 선로(Ag, Ag/Pb, Cu)의 높은 전도율로 인해 저손실의 높은 선택도(selectivity)를 갖는 RF 소자의 제작이 가능하다^{[3],[4]}.

소자의 전체 크기는 생산가격에 직접 영향을 미치므로 LTCC 설계에 있어서 최소의 면적을 갖도록 하는 것이 필요하다. 이러한 다층 구조에 소자의 크기를 작게 하기 위해서는 집중 정수 소자(lumped elements) 및 다른 회로들 사이의 거리가 가까워져야 한다. 특히,

임피던스 정합회로와 선형 여파기 등을 구현하는데 필수적으로 쓰이고 있는 나선형 인덕터(spiral inductor)는 회로요소 중 가장 큰 면적을 차지하며 같은 기판 상의 다른 회로요소에 큰 혼신 특성을 발생 시킨다. 이때 발생하는 소자들 간의 혼신 효과(crosstalk effect)는 무시할 수 없으며, 회로 설계시 반드시 고려해야 한다^[5]. 그러나 기존의 연구는 높은 선택도를 갖는 인덕터 및 캐패시터 등의 수동소자 구현과 비아(via)와 접지면(ground)들이 결합(coupling)에 관한 연구로 국한되었다^{[3],[4],[6],[7]}. 특히 신호선과 나선형 인덕터 간의 layer의 개수와 구조에 따른 혼신에 대한 연구가 매우 미진하다.

따라서 본 논문에서는 다층 배선 구조를 갖는 LTCC공정에서 나선형 인덕터가 내부 선로에 미치는 혼신특성을 정량적으로 해석하였다. 여러 가지 경우 중 본문에서는 내부 선로(interconnection line)가 인덕터의 바로 밑을 통과할 경우, 인덕터가 이 내부 선로에 미치는 혼신정도를 여러 경우에 따라 해석하였다. 해석은 기존의 공정에서 사용되는 LTCC 설계조건에서 구현하였으며 완전 수치해석법(full wave analysis)인 유한 요소법(FEM: Finite Element Method)을 이용하였다. 해석 결과 나선형 인덕터에 의한 혼신 정도는 내부 연결선로의 위치와 Layer 개수에 의존한다. 내부 연결선로가 인덕터의 아래층을 지나는 경우 구조에 따라 매우 높은 혼신특성을 나타냈다. 따라서 이러한 나선형 인덕터의 혼신의 영향을 고려한 LTCC 설계가 필수적임을 확인하였다.

II. 구조 및 해석 방법

1. 간략화된LTCC 다층 구조 및 나선형 인덕터

그림 1은 다층 LTCC 구조에서 나선형 인덕터와 신호선의 측면도로 나타낸 것이다. 전체 크기는 2.1×2.1×1mm 이고 기판정보와 금속의 특성은 표 1. 에 나타내었다. 표에서 처럼 주어진 유전체 유전율은 7.8이고

Layer 두께는 38.4μm인 그린시트를 사용하였다. 내부 전극의 경우 두께 18μm에 손실은(loss tangent) $\tan \delta = 0.0015$ 인 은(Ag)을 사용하였다.

해석 조건에서 가장 밑 부분과 가장 윗부분의 경계 조건은 완전도체(PEC: Perfect Electrical Conductor)로 가정하였으며 해석의 정확도를 높이기 위하여 단자(port) 면을 제외한 모든 면은 흡수 경계조건(ABC: Absorbing Boundary Condition)로 설정하였다. 그림 2는 LTCC에서 구현된 나선형 인덕터의 구조를

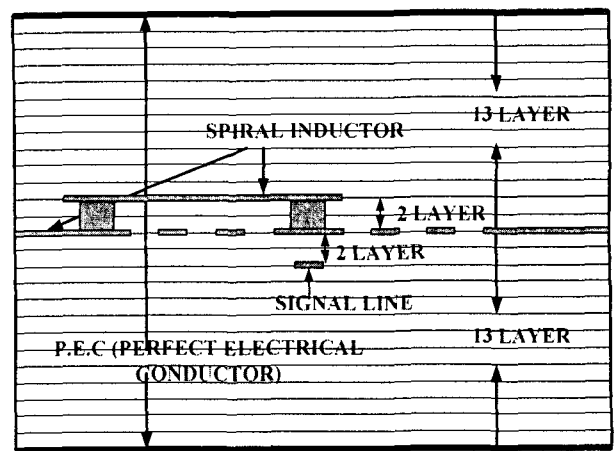


그림 1. 다층구조의 LTCC구조의 측면도

Conductor Properties		Material Properties	
Conductor	Ag	Permittivity	7.8
Thickness	18μm	Loss tan.	0.0015
Conductivity	$6.1 \times 10^7 \text{S/m}$	Thickness	38.4μm

표 1. conductor와 material의 성질

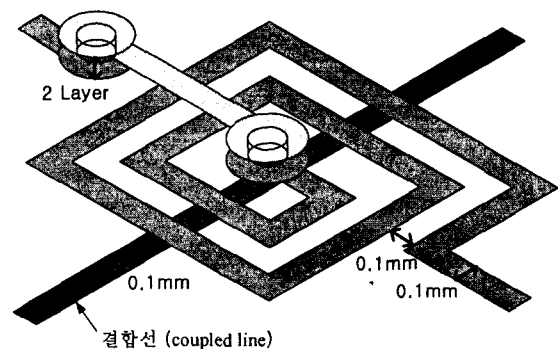


그림 2. 나선형(Spiral) 인덕터 구조

나타낸 것이다. 인덕터와 결합선(coupled line) 선폭은 0.1mm 인덕터의 스트립 라인(stripline) 사이의 간격 또한 0.1mm로 하였다. 사용된 비아의 직경은 0.12mm이고 Vialand의 직경은 0.24mm이다. 인덕터는 그림 2와 같이 스트립 라인을 2번 감은 형태의 나선형으로 구현 하였다.

그림 3은 LTCC에서 실제 구현되는 나선형 인덕터에 하나의 결합 선을 각기 다른 위치에 다른 모양으로 배열한 구성도 이다. 결합 선은 0.1mm의 선폭을 갖고 나선형 인덕터와 38.4 μ m의 두께를 갖는 Layer 2개를

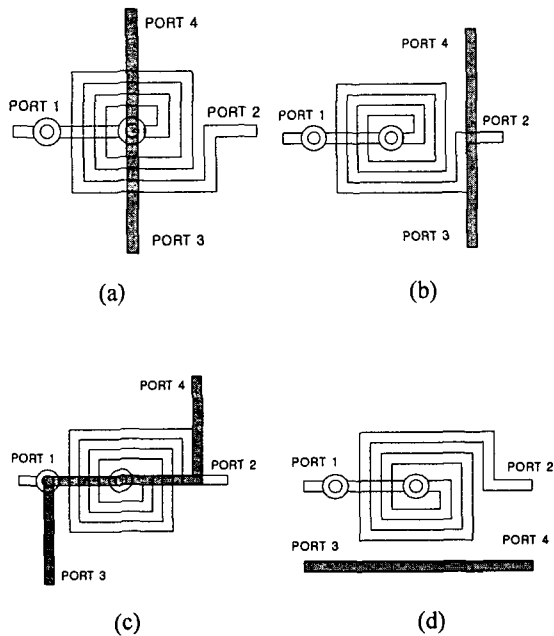


그림 3. 결합선의 위치와 형태에 따른 구성도

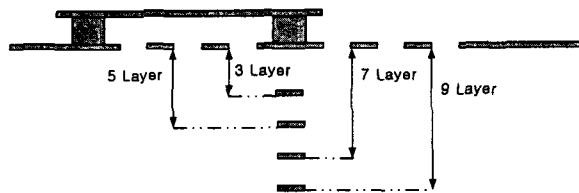


그림 4. 결합선의 Layer 위치에 따른 구성도

사이에 두고 위치한다. (d)의 경우 결합 선은 나선형 인덕터와 동일 Layer에서 인덕터의 최외각에서 0.1mm 띄어진 곳에 위치시킨 구조이다. 이와 같이 4가

지 경우의 구조는 나선형 인덕터와 결합선로의 위치와 구성에 따른 혼신을 분석하기 위한 것이다^[5].

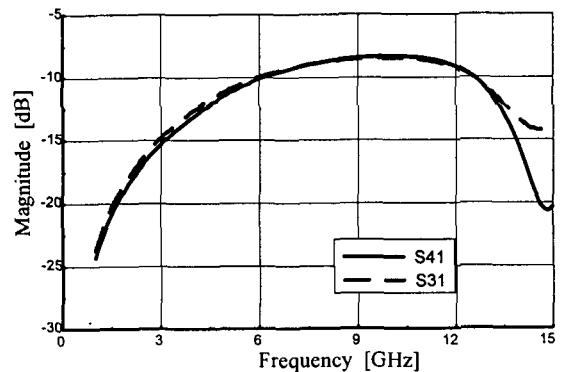
그림 4는 그림 3의 (a)의 구조에서 결합선로와 나선형 인덕터 간의 거리에 따른 구성을 나타낸 것이다. 결합선로가 각각 나선형 인덕터에서 layer가 3개, 5개, 7개, 9개 아래쪽에 위치시켰을 때 혼신의 정도를 분석하기 위한 구조이다.

2. 해석 방법

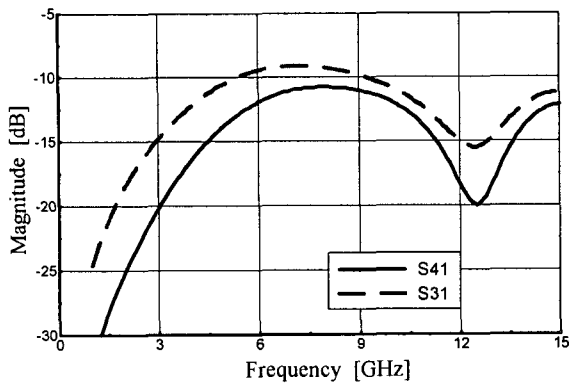
다층 구조를 갖는 LTCC기술에서 여러 회로들 간의 혼신 특성을 근사적 정전·정자기 방법으로 해석한다는 것은 부적절하다. 따라서 정확한 광 대역 해석을 위하여 완전 수치 해석법인 유한 요소법을 사용하였다^[5]. 유한 요소법을 이용한 구조 해석에 있어서 전체 오차율이 2%이내에 수렴하도록 유한 요소 Mesh 생성을 반복 수행 하였고 1~15 GHz내 영역에 걸쳐 혼신 정도를 해석하였다. 해석은 스트립 라인 환경에서 4단차 해석을 실행하였고 특정 대상 결합만 관찰하기 위해 실제의 현상과 근접한 조건을 설정하는 방법으로 완전도체를 인덕터와 결합 선에서 11 Layer이상 떨어진 곳에 위치시켰다.

III. 혼신 해석 결과

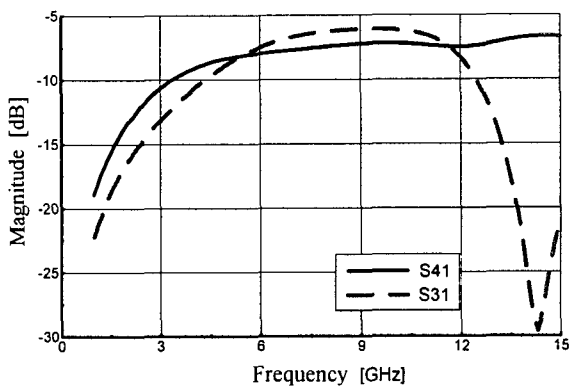
그림 5는 그림 3에 나타난 회로 구조에 대한 각각의



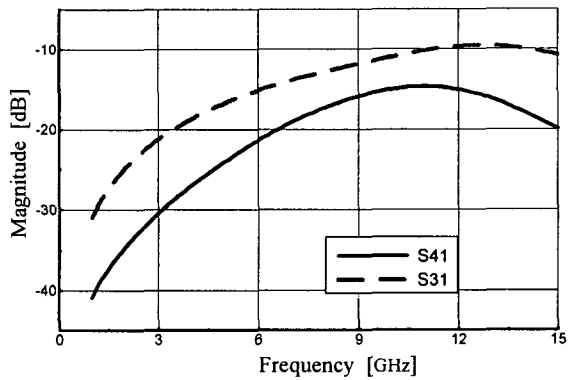
(a)



(b)



(c)



(d)

그림 5. 그림 3의 환경에서 혼신효과의 해석 결과

해석 결과이고 (a), (b), (c), 그리고 (d)는 각각 그림 3의 혼신 정도를 나타낸다. 이 4개의 결과 그래프로부터 나선형 인덕터가 주로 사용되고 있는 1~5GHz 주파수 대역에 대하여 주파수에 따른 혼신 변화율이 크며, 이 주파수 대역에서의 최소 -41dB에서 최대 -8dB의 혼신이

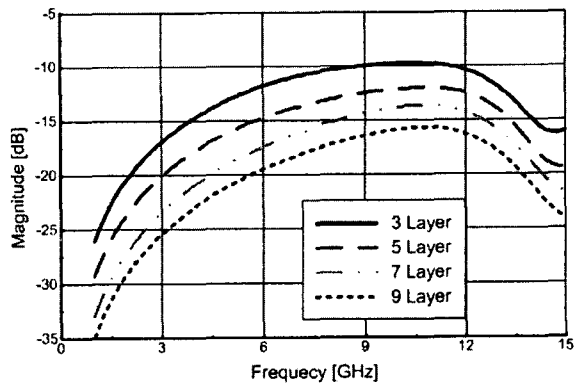


그림 6. 그림 4의 환경에서 혼신효과의 해석 결과

나타난다.

이는 LTCC구조에서 나선형 인덕터와 결합선의 혼신은 이 두 소자간의 간격과 구조에 따라 나타남을 알 수 있다. 이와 같은 혼신 특성 효과는 인덕터에서 발생하는 Magnetic coupling에 의해 주로 영향 받게 되며, 그림 3의 (a), (b), 그리고, (c)의 구조는 인덕터를 형성하고 있는 스트립 라인과의 Capacitive Coupling으로도 영향 받게 된다. 따라서 그림 3의 (a)와 (c)는 혼신효과의 측면에서 비슷한 구조이지만 (c)의 경우에는 추가적인 급전선로에 의한 Capacitive Coupling효과로 인하여 (a)의 경우보다 평균 약 5dB정도 혼신평가가 증가한다. (d)에서는 스트립 라인이 인덕터의 측면을 지나가더라도 Magnetic coupling의 영향을 무시할 수 없다는 것을 보이고 있다^[5].

그림 6은 그림 4의 조건에서 유한 요소법 해석 결과를 나타내는 것이다. 3GHz에서 Layer 수가 3, 5, 7, 9 증가할수록 혼신정도가 전체적으로 약 5dB씩 감소하는 것을 알 수 있다. 이는 나선형 인덕터와 결합선 사이의 혼신이 두 소자의 간격에 큰 영향을 받는다는 것을 알 수 있다. 이는 동일 Layer 간격에서 관찰한 그림 3의 (a), (b), (c) 경우를 분석할 때 나선형 인덕터와 결합선의 간격을 동시에 분석해야함을 말해준다. 본 논문의 해석 결과에서 나선형 인덕터가 주변의 다른 회로에 미치는 영향이 매우 심각하다는 것을 알 수 있다. 따라서 LTCC공정을 이용한 RF소자 설계시 소자간

Coupling을 고려해야하며 또한 이런 소자 간 혼신 문제를 해소하기 위한 연구가 필요하다.

IV. 결론

본 논문에서는 현재 집적도를 높이기 위해 사용되는 LTCC상에서 회로들 간의 혼신 효과를 구조적으로 간략화 하여 완전 수치 해법인 유한 요소법을 사용하여 해석하였다. 그중 가장 큰 면적을 차지하는 평면 나선형 인덕터가 내부 연결선에 미치는 영향을 해석하여 LTCC를 이용한 설계 시에 필요한 설계규칙과 EMI(ElectroMagnetic Interference)문제를 연구하였다.

해석 결과 그림 3의 (a)와 (c)의 구조로 배열된 경우 3GHz에서 15dB, 10dB로 높은 혼신 특성이 나타났고 (b) 처럼 나선형 인덕터와 신호선의 Coupling이 상대적으로 적게 발생하는 곳에서는 18dB의 혼신 특성이 나온다. (d)의 경우 동일평면에서 0.1mm떨어진 구조로 21dB의 혼신을 나타냄을 알 수 있다. 그림 6의 결과는 동일 구조에서 Layer수에 따른 혼신의 영향이고 Layer 당 약 5dB의 Coupling의 변화를 나타낸다.

실제 LTCC공정을 이용해 회로 설계를 할 경우 아주 작은 면적에 많은 회로들이 집적 되어 있으며 이로 인한 회로들 간의 원치 않는 전자기적 기생 간섭 현상이 발생하게 된다. 이는 단순히 인덕터에 그치지 않고 수동소자, 비아 및 접지면 상호간 Coupling이 발생한다^{[6][7]}. 따라서 LTCC구조 내에서 다양한 소자간의 Coupling에 대한 연구와 이를 해결하는 방법에 대한 연구가 진행 되어야 한다.

V. 참고 문헌

- [1] Albert Sutono, Anh-Vu H. Pham, "RF/Microwave Characterization of Multilayer Ceramic-Based MCM Technology", IEEE Transactions on Advanced Packaging, Vol, 22, No. 3, pp. 326~331, AUGUST 1999
- [2] A. Sutono, J. Laskar, W.R. Smith, "Development of Integrated Three Dimensional Bluetooth Image Reject Filter", IEEE MTT-S Digest , pp.339~342, 2000
- [3] J. Muller, H. Thust, "3D-intergration of passive RF-components in LTCC", Pan Pacific Microelectron Symposium, pp. 211-216, 1997
- [4] Albert Sutono, Deukhyoun Heo, Yi-Jan Emery Chen, Joy Laskar, "High-Q LTCC-Based Passive Library for Wireless System-on-Package(SOP) Module Development" IEEE Transactions on Microwave Theory And Techniques, Vol.49 10, pp.1715~1724, October 2001
- [5] 김진양, 이해영, "다층기판 구조를 갖는 MMIC에서의 평면 나선형 인덕터로 인하 혼신 해석", 춘계 마이크로파 및 전자파 학회, Vol.22 No.1, pp. 407-410, 1999
- [6] Akihiro SASAKI, Yūzo SHIMADA, "Electrical Design Technology for Low Dielectric Constant Multilayer Ceramic Substrate" IEEE pp.719~726 1991
- [7] George E. Ponchak, DongHoon Chun, Jong-Gwan Yook, Linda P.B. Katehi, "Experimental Verification of the Use of Metal Filled Via Hole Fences for Crosstalk Control of Microstrip Lines in LTCC Packages", IEEE Transactions on Advanced Packaging, Vol, 24, No. 1, , pp. 76~80, FEBRUARY 2001
- [1] Albert Sutono, Anh-Vu H. Pham, "RF/Microwave Characterization of Multilayer Ceramic-Based MCM Technology", IEEE Transactions on