

박막 인덕터의 설계 및 특성해석

*김병택, **권병일, ***우경일, **이철규

*(주)삼성전기, **한양대학교 대학원, ***한양대학교 공학기술 연구소

Design and characteristic analysis of thin film inductor

*B. T. KIM, **B. I. KWON, ***K. I. WOO, **C. G. LEE

*Samsung Electro-Mechanics Co.Ltd, **Graduate School of Hanyang University, ***RIET

Abstract - This paper represents the method is to design thin film spiral type inductor using the analytic method and to evaluate the characteristics of the high frequency inductors using HFSS simulation program. The magnetic circuit of the thin film inductor can be successfully simulated by the HFSS.

다양한 형태의 인덕터를 설계하기 위해서 근사적인 방법으로 인덕턴스를 계산하는 많은 해석식이 존재하며, 본 연구에서는 F. W. Gover가 제시한 방법을 이용하여 square spiral형 인덕터의 인덕턴스를 계산하였다[1].

2.1.1 Square Spiral형 인덕터의 인덕턴스의 이론적 계산

Square spiral형 인덕터의 인덕턴스를 계산하기 위해서는 이와 등가적인 형태의 circular spiral 인덕터에 대한 인덕턴스 계산식으로부터 계산할 수 있다.

그림1은 계산하고자 하는 square spiral 인덕터를 나타내며, 도체간 거리 p 와 $c(=Np)$ 와 인덕터 중심으로 도체까지의 평균거리 a' 를 구한다.

1. 서 론

오늘날 개인용 컴퓨터, 초소형 측정장치, 휴대용 전화, 개인용 단말기등에 사용은 전원의 소형, 경량화 필요성이 날로 증대되고 있다. 최근 국내 반도체 기술의 비약적인 발전으로 전자 기기 전반에 소형화, 고주파화, 고 기능화 등이 진행되는데 반해, 반도체 소자등에 전원을 공급하거나 전기신호를 변조·증폭시키는 인덕터, Transformer와 같은 수동자기 소자는 아직도 3차원 벌크형태로 사용되고 있다.

이러한 전원의 소형, 경량화 필요성에 의해 국외에서는 자기소자의 박막·소형화 연구가 다각적으로 진행중이나 국내에서는 아직 미미한 실정이다. 이러한 연구 중 박막인덕터에 대한 연구도 진행중이며 박막 인덕터는 전자회로의 Power Supply, Resonator Filter, LC Filter, IC등에 사용될 수 있다. 박막 인덕터에 관한 연구는 주파수, 인덕턴스 및 Q값을 증가시키는데 집중되고 있다.

이러한 박막 인덕터의 종류는 spiral형과 meander형으로 나뉘는데, 사용주파수가 비교적 낮으며, 큰 인덕턴스를 요하는 경우에 spiral이 사용되며, meander형은 기생커패시턴스와 누설자속을 감소시키는 구조로 높은 동작 주파수에서 사용해야하는 경우에 적용하는 경향이 많다.

본 논문에서는 square spiral형의 박막 인덕터 설계를 위하여 기존의 이론적 해석방법을 바탕으로 설계하고, 고주파 유한요소해석 프로그램인 HFSS (High Frequency Structure Simulator)를 이용하여 주파수에 대한 인덕턴스, 저항 등의 특성을 계산하였다.

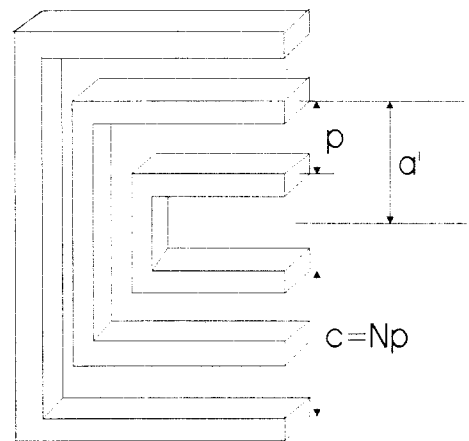


그림1. Square spiral 인덕터

2. 본 론

2.1 Spiral 인덕터의 근사적 인덕턴스 계산

그리고, 평균거리 a' 를 이용하여 그림 2와 같은 정사각형을 구하고, 이로부터 계산한 정사각형을 식(5)를 이용하여 같은 면적의 평균반경 a 를 갖는 donut형태의 면적을 구하면 그림3과 같다.

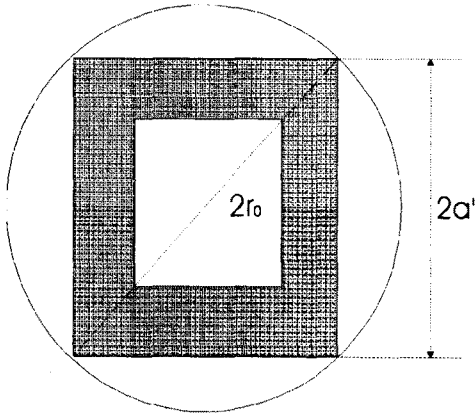


그림 2. 평균거리 a' 의 정사각형

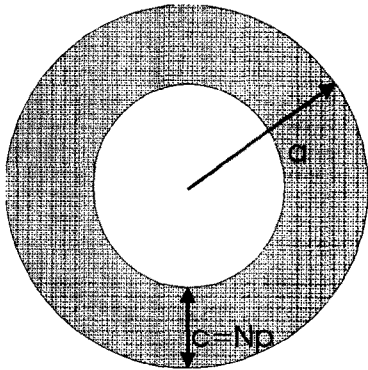


그림 3. 등가적인 disk모델

그림3을 N [turn]의 circular spiral형 인덕터로 나타내면 그림4와 같고, 이로부터 식(1)을 이용하여 inductance 값을 구한다.

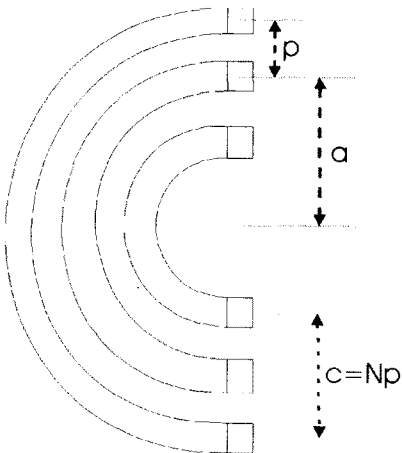


그림 4. Circular형으로의 등가화

그림 1의 square형태의 인덕턴스 L_s 와 circular 형태의 인덕턴스 L_c 는 식(1)~식(2)와 같다.

$$L = L_s - 0.004 \pi N a (G_1 + H_1) \quad (1)$$

$$L_c = 0.01 N^2 a P \quad (2)$$

여기서, N 은 도체의 turn수, a 는 circular 인덕터의 평균반경, $P = \frac{c}{2a}$, 그리고 $c = Np$ 이다.

그리고,

$$G_1 = \log_e \frac{B+C}{P} + \log_e e \quad (3)$$

$$H_1 = H + 2 \left[\frac{N-1}{N} \ln k + \frac{1}{12} (\beta^2 - \gamma^2) - \frac{1}{60} (\beta^4 + \gamma^4 - \frac{5}{2} \beta^2 \gamma^2) (0.0823 - \frac{0.2021}{N}) \right] \quad (4)$$

여기서, B 는 도체의 높이 C 는 도체의 폭, $\beta = \frac{B}{p}$ 이고 $\gamma = \frac{C}{p}$ 이다.

2.2 박막인덕터의 설계

2.1절의 계산방법을 이용하여 $0.5 \mu H$ 의 고주파 인덕터의 설계를 시행하였으며, 설계된 인덕터의 형상을 그림 5와 표 1에 나타내었다.

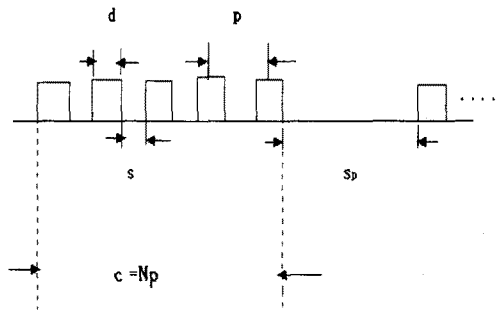


그림 5. 설계 박막 인덕터의 단면구조

표 1. 설계사양

설계 인덕턴스	0.5 μH
크기	3.48[mm] * 3.48[mm]
턴수	5[turn]
s	8 μm
s _p	200 μm
d	100 μm
g	60.0 μm

2.3 특성해석

고주파대역에서 사용되는 박막 인덕터와 같은 수동부품의 정확한 해석을 위해서 파동방정식(wave equation)으로 표현되는 전자장 방정식을 계산해야하며, 본 논문의 전자장해석은 FEM이용한 고주파 해석용 프로그램인 HFSS를 이용하였다.

2.3.1 해석결과

2.2절에서 설계된 square spiral inductor에 대해 HFSS를 이용하여 고주파 특성을 해석하였으며 그림7에 반사특성(S11)을 Smith chart에 나타내었다.

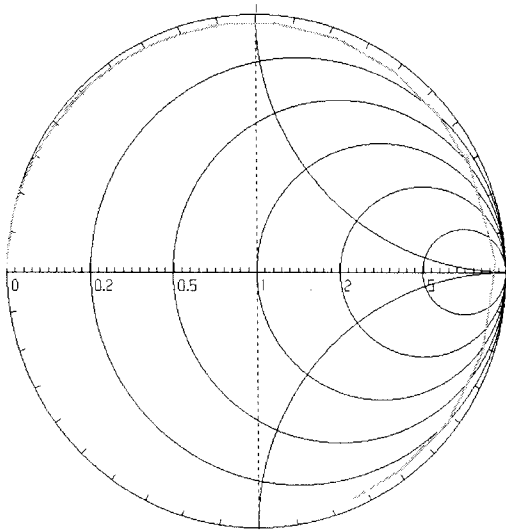


그림 6. 주파수 1~400MHz에서의 Smith chart 결과

그림 8과 그림 9에 smith chart에 나타난 특성으로부터 인덕턴스와 저항을 각각 나타내었다. 그림 8로부터 1MHz에서 4.97 μ H로 설계치와 거의 같으며, 약 20MHz부근까지는 인덕턴스 설계값인 5 μ H를 거의 유지하는 것을 볼 수 있으므로, 설계안이 비교적 타당한 것을 알 수 있다. 또한 설계된 인덕터의 사용가능주파수는 20MHz이하가 되는 것을 의미한다. 그리고, 20MHz이상의 주파수에서는 인덕턴스값이 증가하기 시작하는데, 이는 도체가 부유정전용량의 존재에 때문이며, 약 260MHz 이상에서는 더 이상 인덕터로 동작하지 못하고 콘덴서로 동작하게 된다.

또한 그림 9의 저항값도 주파수 변화에 대해 인덕턴스와 비슷한 경향을 보이며, 공진주파수 근방에서 최대치에 도달하게 되어 Q값의 감소로 이어진다.

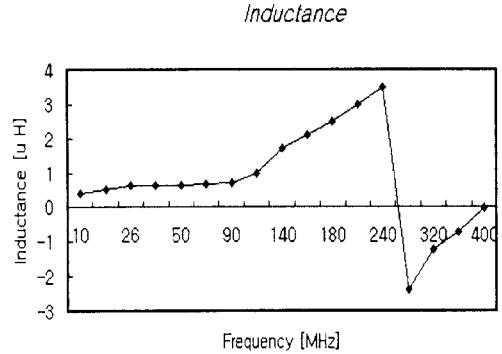


그림 7. 주파수 변화에 따른 Inductance

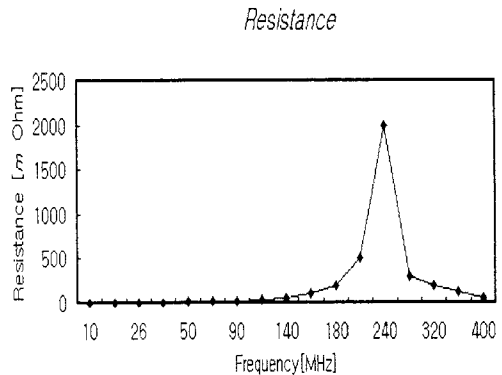


그림 8. 주파수변화에 따른 Resistance값

3. 결 론

본 논문에서는 5 μ H의 박막인덕터를 근사 해석식을 이용하여 설계하였으며, 설계안에 대해 고주파 해석 툴을 사용하여 주파수에 따른 특성을 확인하였다.

결정된 설계안은 저주파수대역에서는 설계된 인덕턴스 특성을 나타내었지만, 고주파수 대역에서 부유정전용량에 의해 공진하는 특성을 나타내게 되는 것을 파악할 수 있었다. 즉, 향후 고주파대역에서 요구되는 특성을 만족시키는 박막인덕터의 설계를 위해서는 주파수특성에 대한 정확한 예측 및 고주파수 대역까지 원하는 인덕턴스를 발생시키는 적절한 형태의 설계가 매우 중요함을 알 수 있었다.

[참 고 문 헌]

- [1] Frederick W. Grover, Ph.D. "Inductance Calculations". D. Van Nostrand Company Inc. New York U.S.A. pp. 19~282, 1947.