

나선 박막 인덕터의 GHz 대역 특성

숭실대학교 김지원*, 조순철

Characteristics of spiral thin film inductors in the GHz bandwidth range.

Soongsil University J. Kim*, S. Jo

1. 서론

최근의 반도체 제조기술의 급속한 발달로 인하여 시스템의 소형화·경량화의 추세가 증가하고 있다. 특히 휴대용 전화기, PCS 등 정보통신기기의 소형화 및 경량화의 추세가 두드러지게 나타나고 있다. 또한 각종 부품의 동작 가능 주파수 대역이 종전의 kHz 또는 MHz 대역에서 GHz 대역으로 옮겨지고 있는 추세에 있다[1]. 이러한 추세 중 인덕터의 소형화·경량화 기술은 반도체 제조기술을 이용해 실리콘기판 등의 위에 평면 모양의 코일을 만드는 박막 인덕터가 이용되고 있다. 그러나 종전의 박막 인덕터는 그 동작 주파수 대역이 kHz, 또는 MHz이었다. 지금까지는 공심 형태의 나선 인덕터를 주로 해석하여 왔으며, 높은 인덕턴스와 Q factor 값을 얻기 위해서 많은 턴수를 필요로 하였다. 이로 인하여 공진 주파수의 감소를 초래하였고, 실제로 사용할 수 있는 공진 주파수 이하의 영역 또한 MHz 대역에 국한되었다. 이를 해결하기 위하여 자성박막을 사용하려는 시도가 꾸준히 이루어져 왔으나 아직까지는 큰 성과가 없는 실정이다[2].

본 연구에서는 GHz 대역에서 안정적으로 사용할 수 있는 인덕터의 구현을 위하여 우선 공심 상태의 박막 인덕터를 GHz 대역에서 해석하여, 추후 자성 박막을 사용한 인덕터 구현에 필요한 기초 자료를 제시하고자 한다. 박막 인덕터의 주파수 해석 범위를 10GHz까지로 하였으며 구조는 사각 나선 구조를 택하여 그 특성을 분석하였다.

2. 모의실험방법

최근 박막 인덕터는 그 활용범위가 초고주파 영역까지 확대되어 활발히 연구되고 있다. 이러한 박막 인덕터의 활용범위가 초고주파 영역으로 확대됨에 따라 특성분석 방법에 초고주파 해석 기법을 사용하여야 된다고 판단하여 박막 인덕터의 제조에 앞서 수치 해석적인 방법으로 그 특성을 분석하였다.

그림 1은 주파수에 따른 박막 인덕터의 동작특성을 나타낸 것으로 크게 3 영역으로 나눌 수 있다. 영역 I은 인덕터의 특성을 나타내는 영역으로 사용 가능한 영역이며, 영역 II는 천이영역으로써 인덕터의 특성에서 커패시터의 특성으로 바뀌는 영역이다. 이 영역에는 인덕턴스가 0이 되는 주파수를 포함하고 있으며, 이 주파수를 공진 주파수라 부른다.

수치해석에 사용한 인덕터의 구조는 전체 크기 $390 \mu\text{m} \times 390 \mu\text{m}$, 선폭 $10 \mu\text{m}$, 선간격 $10 \mu\text{m}$ 의 사각 나선형을 기본으로 설계하였다. 인덕터 내부 도선과의 연결은 air bridge 형태를 택하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

그림 2와 3은 턴수에 따른 인덕턴스와 공진 주파수의 변화를 나타낸 것이다. 나선 인덕터의 턴수가 증가하면 인덕턴스는 증가하였다. 초기 인덕턴스의 경우 적은 턴수에서는 급격히 증가하다가, 많은 턴수에서는 포화되는 형태가 되었다. 최대 인덕턴스 역시 처음엔 급격히 증가하다가 나중에는 포화되는 형태가 되었다. 그러나 나선 인덕터의 턴수가 증가하면 중앙에 위치하는 도선 간의 거리가 가까워진다. 가까워진 중앙 도선의 전류 방향은 서로 반대로 흐르기 때문에 전체 인덕턴스에 대한 상호 인덕턴의 기여도가 점점 작아지게 되어 전체 인덕턴스의 증가폭이 감소하게 된다. 그리고 나선 인덕터의 턴수가 증가하면 공진 주파수는 급격히 감소함을 알 수 있었다.

그림 4는 도체의 폭 $10\ \mu\text{m}$ 와 턴수 5.5를 유지하고 도체의 간격 변화에 따른 인덕턴스의 변화를 나타낸 것이다. 나선 인덕터의 도체 간격이 증가하면 인덕턴스는 감소하였다. 이는 나선 인덕터의 경우 이웃한 도체의 전류 방향이 같아 상호 인덕턴스가 전체 인덕턴스에 (+)로 작용하나, 도체간의 거리가 멀어지면 이러한 상호 인덕턴스의 값이 작아지고 오히려 전류 방향이 반대여서 상호 인덕턴스가 (-)로 작용하는 중심 도체와의 거리가 가까워지게 되기 때문이다.

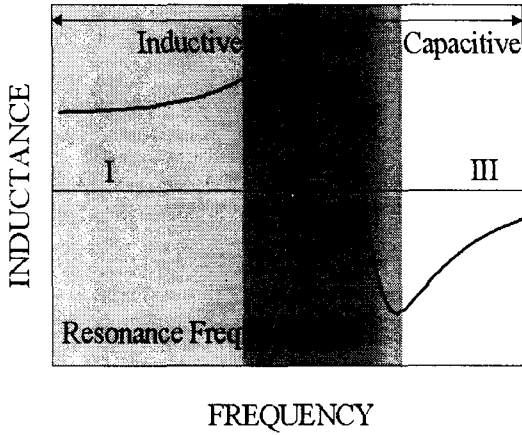


Fig. 1. Operational regions of a typical inductor.

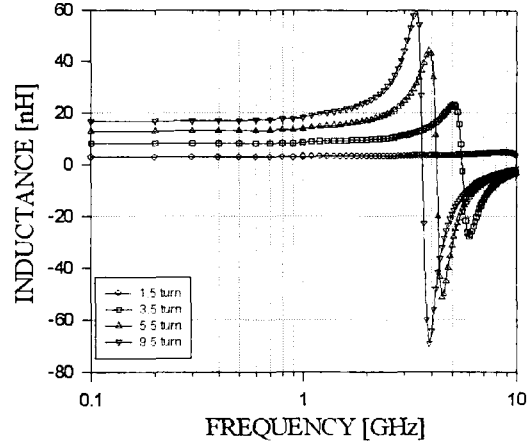


Fig. 2. Inductance versus frequency of spiral inductors for varying turns.

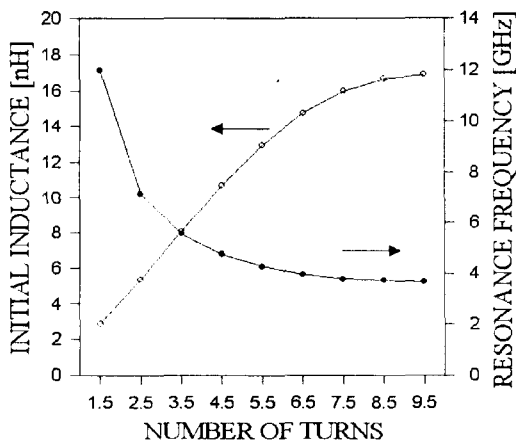


Fig. 3. Initial inductance and resonance frequency versus varying turns of spiral inductors.

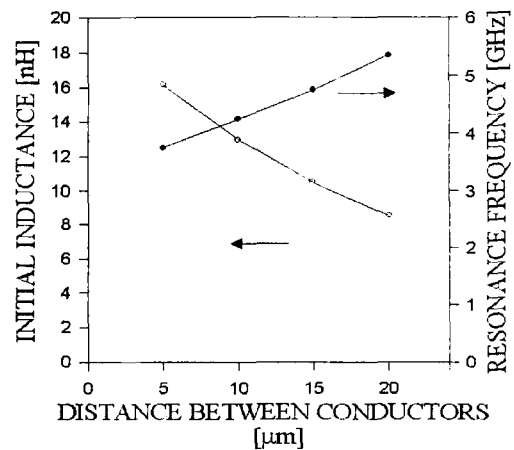


Fig. 4. Initial inductance and resonance frequency versus varying distance between conductors.

4. 결론

나선형 공심 인덕터를 설계하고, GHz 대역에서 특성을 해석하였다. 나선 인덕터의 턴수, 선간격과 선폭을 변화시키며 구조 변경에 따른 특성을 해석하였다. 나선 인덕터의 턴수를 증가시키거나 도체의 선폭과 선간격을 감소시키면 초기 인덕턴스와 최대 인덕턴스는 급격히 증가한 후 포화되는 경향을 보였다. 반면 공진 주파수는 감소하였다. 이러한 결과를 토대로 GHz 대역에서 안정적으로 사용할 수 있는 인덕터의 기본 설계 방향을 알 수 있었다.

5. 참고문헌

- [1] Yorgos K. Koutsoyannopoulos, and Yannis Papananos, IEEE Trans. Circuits and Systems, 47(8), 699(2000).
- [2] M. Yamaguchi, M. Baba, K. Suezawa, T. Moizumi, K. I. Arai, A. Haga, Y. Shimada, S. Tanabe, and K. Itoh, IEEE Trans. Mag, 36(5), 3495(2000).