

SMD 솔레노이드 형태의 RF 칩 인덕터의 최적 구조 도출

김재욱*
*남서울대학교 전자공학과
e-mail:jwkim@nsu.ac.kr

Optimum Structure Design of SMD Solenoid Type RF Chip Inductor

Jae-Wook Kim*
*Dept of Electronic Engineering, Namseoul University

요 약

본 논문에서는 소형 SMD 솔레노이드 형태의 RF 칩 인덕터의 최적 구조를 도출하였다. 1.0×0.5×0.5mm³ 크기의 96% Al₂O₃ 코어는 40μm 직경의 구리 코일을 4회 권선하여 8.57nH의 인덕턴스, 37.6의 품질계수와 6.05GHz의 SRF를 가진다. 40μm 직경의 구리 코일을 0.35mm 솔레노이드 길이로 중앙에 6회 권선하였을 경우가 250MHz 11.2nH의 인덕턴스, 29.8의 품질계수와 5.6GHz의 SRF로 가장 우수하였다.

1. 서론

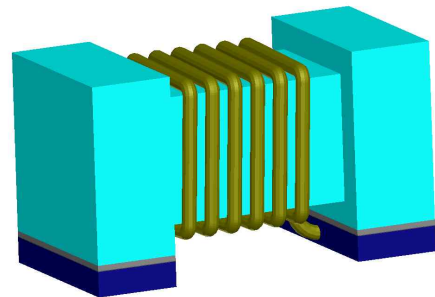
최근 전자 기기의 발전 동향을 살펴보면 표면 실장 기술(surface mounting technology)의 발달에 따라 경박 최소화가 진행되고 있으며 또한 CDMA, PCS, IMT2000 등의 이동 통신 체제의 발전에 따라 우수한 성능을 지닌 소형, 경량화 된 이동 통신기기(호출기, PCS폰, 휴대폰, PDA, GPS 등)와 첨단 전자 제품(노트북 컴퓨터, 캠코더 등)의 수요가 급속도로 확대되는 추세로 이를 구현하기 위하여 부품 소자들의 표면 실장 소자(surface mounting device) 형태의 칩 크기에 의존하게 된다[1].

최근 실리콘 공정을 기초로 한 소형 경량의 RF 칩 인덕터의 일반적인 형태는 솔레노이드 형태가 아닌 박막(thin film) 또는 적층(multi-layer) 형태이다[2]. 그러나 이와 같은 박막 나선형 인덕터는 반도체 기판(substrate)에서의 에너지 손실로 높은 주파수에서 품질계수가 감소하는 기판 효과(substrate effect)의 문제점을 갖는다. 그러므로 반도체 기판으로부터 인덕터를 분리해낸 솔레노이드 형태를 적용함으로써 기판 효과를 제거할 수 있고 전체적인 성능을 향상시킬 수 있다[3]. 또한 점유 면적을 적게 하면서 단순히 권선수를 증가시켜 큰 인덕턴스를 얻을 수 있을 뿐만 아니라 일반적으로 잘 알려진 식을 사용하여 쉽게 인덕턴스를 계산하거나 설계할 수 있다.

따라서 본 논문에서는 기존의 소형 RF 칩 인덕터의 성능을 유지하면서 소형 경량의 박막 인덕터의 장점도 살릴 수 있는 극소형의 RF 칩 인덕터를 설계하기 위하여 Ansoft의 HFSS(high frequency structure simulator)를 이용하여 극소형 솔레노이드 칩 인덕터를 모델링하고 시뮬레이션하여 높은 인덕턴스와 고품질계수를 갖는 극소형 솔레노이드 RF 칩 인덕터의 최적 설계 방법을 제안하였다.

2. 실험 및 고찰

높은 인덕턴스, 고품질계수와 높은 SRF를 갖는 1.0×0.5×0.5mm³ 크기의 극소형 RF 칩 인덕터의 최적 구조 및 조건을 선정하기 위하여 Ansoft의 RF 및 무선 통신용 3차원 구조물 전자계 해석 시뮬레이션 도구인 HFSS를 이용하여 시뮬레이션을 수행하였다.



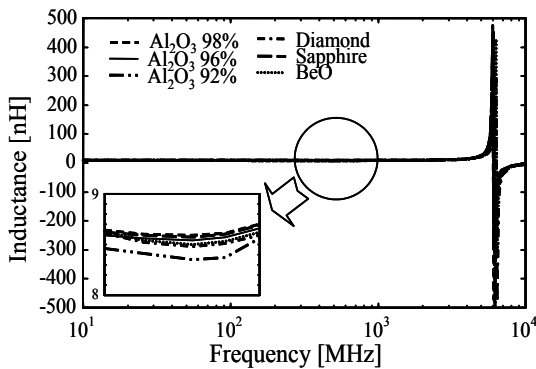
[그림 1] I-형태 솔레노이드 RF 칩 인덕터의 HFSS 모델링

그림 1은 HFSS를 이용한 시뮬레이션에 사용된 I-형태 극소형 솔레노이드 RF 칩 인덕터의 3차원 구조를 나타낸다.

2.1. 코아의 재질

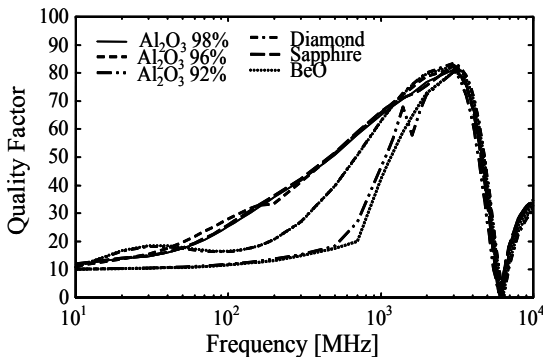
코아 재질을 선정하기 위해 1.0×0.5×0.5mm³ 크기의 C-형태 코아 구조에 전극 부분을 W-Ni-Au로 하여 40μm 직경의 Cu 코일을 4회 권선한 동일 조건에서 코아의 재질을 98%, 96% 및 92% 순도의 Al₂O₃, Diamond, Sapphire, 그리고 BeO로 가변하며 시뮬레이션을 수행하였다.

그림 2는 코아 재질에 따른 인덕턴스-주파수 특성의 시뮬레이션 결과를 나타낸다. 그림 21에서 보듯이 제안된 모든 재질들은 거의 비슷한 인덕턴스 값을 가지며, 그 중 92% Al₂O₃가 가장 낮은 인덕턴스를 가진다.



[그림 2] 코아 재질에 따른 인덕턴스-주파수 특성의 시뮬레이션 결과

그림 3은 코아 재질에 따른 품질계수-주파수 특성의 시뮬레이션 결과를 나타낸다. 98% 및 96% Al₂O₃와 Sapphire가 250MHz 주파수에서 약 37~40 정도의 우수한 품질계수 특성을 가지며 BeO, 92% Al₂O₃와 Diamond가 낮은 품질계수를 가짐을 알 수 있다.



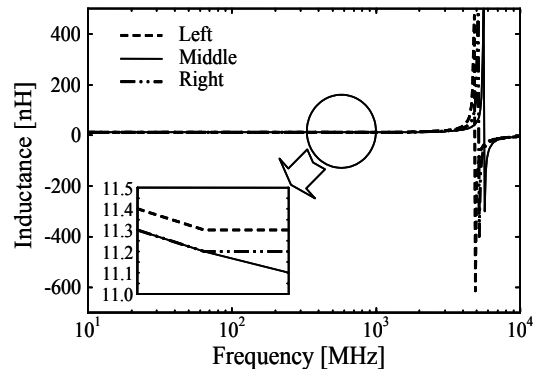
[그림 3] 코아 재질에 따른 품질계수-주파수 특성의 시뮬레이션 결과

그림 2와 3으로부터 얻어진 코아 재질에 따른 주파수 특성의 경우, 인덕턴스가 98% Al₂O₃가 250MHz에서 8.62nH로 가장 우수하며, 품질계수는 Sapphire가 250MHz에서 39.5로 가장 높은 값을 가진다. SRF는 Diamond와 BeO가 6.38GHz와 6.31GHz로 가장 높으나 품질계수가 250MHz에서 23.7로 낮음을 나타낸다. 따라서 인덕턴스, 품질계수 및 SRF가 모두 우수한 재질로는 98% Al₂O₃와 Sapphire를 들 수 있으나, 이들과 비슷한 정도의 주파수 특성을 가지며 가격이 가장 저렴한 96% Al₂O₃를 코아 재질로 선정하였다.

2.2. 코일의 위치

최적의 권선 조건을 선정하기 위하여 앞의 시뮬레이션 결과를 기반으로 I-형태의 코아 구조에 96% Al₂O₃의 코아 물질을 이용하여 40μm 직경의 코일을 0.35mm의 솔레노이드 길이로 6회 권선하여 모델링하였다. 동일 조건에서 코일의 위치를 좌측, 중앙 및 우측으로 가변하며 시뮬레이션을 수행하였다.

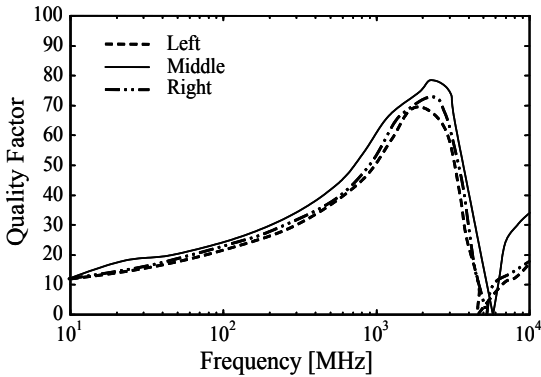
그림 4는 코일의 위치 변화에 따른 인덕턴스-주파수 특성의 시뮬레이션 결과를 나타낸다. 그림에서 보듯이 제안된 코일의 위치가 좌측인 경우 250MHz의 주파수에서 11.3nH, 중앙이 11.2nH, 우측이 11.2nH로 거의 비슷한 인덕턴스 값을 가짐을 알 수 있다.



[그림 4] 코일 위치 변화에 따른 인덕턴스-주파수 특성의 시뮬레이션 결과

그림 5는 코일의 위치 변화에 따른 품질계수-주파수 특성의 시뮬레이션 결과를 나타낸다. 그림에서 코일의 위치가 좌측인 경우 250MHz의 주파수에서 29.6, 중앙이 29.8, 우측이 29.7로 거의 비슷한 품질계수 특성을 가지나 전 주파수 영역에서 중앙인 경우가 우수한 특성을 가짐을 알 수 있다. SRF는 품질계수가 최대 자기 에너지와 최대 전기 에너지가 같아져 0이 되는

지점으로 그림 30의 인덕턴스-주파수 특성 곡선에서 반전이 일어나며 0이 되는 지점과 잘 일치함을 알 수 있다.

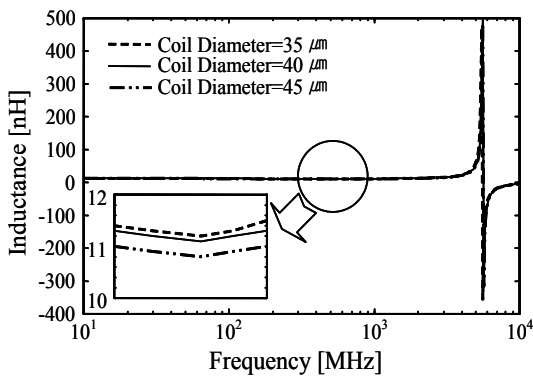


[그림 5] 코일 위치 변화에 따른 품질계수-주파수 특성의 시뮬레이션 결과

그림 5와 6의 결과로부터 코일의 위치가 좌측, 중앙 및 우측인 경우에 대하여 인덕턴스와 품질계수가 11.2~11.3nH와 29.6~29.8로 거의 비슷하나 SRF는 좌측의 4.85GHz와 우측의 5.12GHz보다 중앙인 경우가 5.6GHz로 가장 우수한 특성을 가지므로 코일의 위치는 중앙으로 선정하였다.

2.3. 코일의 직경

동일 조건에서 코일의 위치를 중앙에 고정시키고 코일의 직경을 35 μ m, 40 μ m 및 45 μ m으로 각각 가변하며 시뮬레이션을 수행하였다.



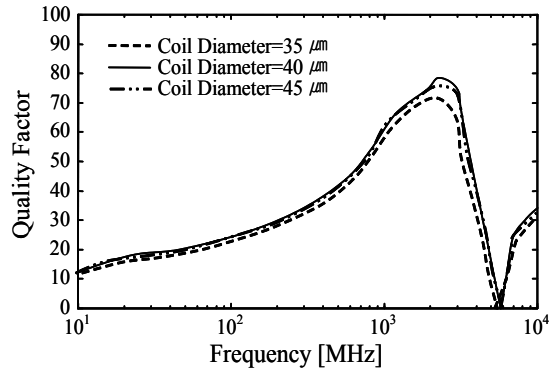
[그림 6] 코일 직경 변화에 따른 인덕턴스-주파수 특성의 시뮬레이션 결과

그림 6은 코일의 직경 변화에 따른 인덕턴스-주파수 특성의 시뮬레이션 결과를 나타낸다. 그림에서 보듯이 코일의 직경이 35 μ m인 경우 250MHz의 주파수에서 11.3nH, 40 μ m이 11.2nH, 45 μ m이 10.9nH로써 35 μ m인 경우가 가장 높은 인덕턴스 값을 가짐을 알

수 있다. SRF는 35 μ m인 경우 5.51GHz, 40 μ m이 5.6GHz, 45 μ m이 5.61GHz를 가짐을 알 수 있다.

그림 7은 코일의 직경 변화에 따른 품질계수-주파수 특성의 시뮬레이션 결과를 나타낸다. 코일의 직경이 35 μ m인 경우 250MHz의 주파수에서 29.6, 40 μ m이 29.8, 45 μ m이 29.8의 품질계수 값을 가진다.

품질계수는 저장된 자기에너지와 저항 손실에 대한 비가 되는데, 코일의 직경에 따라 표피 효과가 변화하게 되고 품질계수의 주파수 특성이 변화하게 된다. 따라서 품질계수를 향상하기 위해서 금속 손실이 적은 물질을 사용하고 저항 손실을 최소화함으로써 고품질계수를 실현할 수 있다.



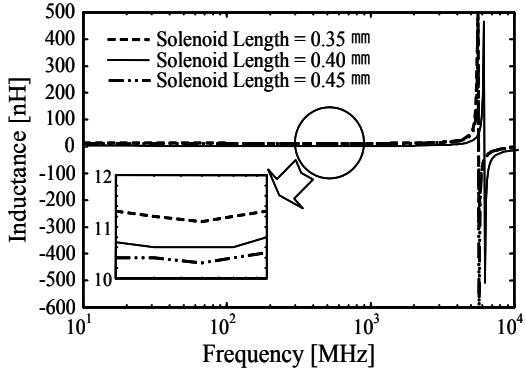
[그림 7] 코일 직경 변화에 따른 품질계수-주파수 특성의 시뮬레이션 결과

그림 6과 7의 결과로부터 코일의 직경이 35 μ m인 경우에 11.3nH의 인덕턴스로 가장 우수하나, 29.6의 품질계수와 5.51GHz의 SRF로 가장 낮은 값을 가진다. 코일의 직경이 45 μ m인 경우가 저항 손실을 줄여 29.8의 품질계수와 5.61GHz의 SRF를 가지는 반면 10.9의 낮은 인덕턴스를 가진다. 코일의 직경이 40 μ m인 경우가 11.2nH의 인덕턴스, 29.8의 품질계수와 5.6GHz의 SRF를 가지며 모든 면에서 우수하였다.

2.4. 솔레노이드의 길이

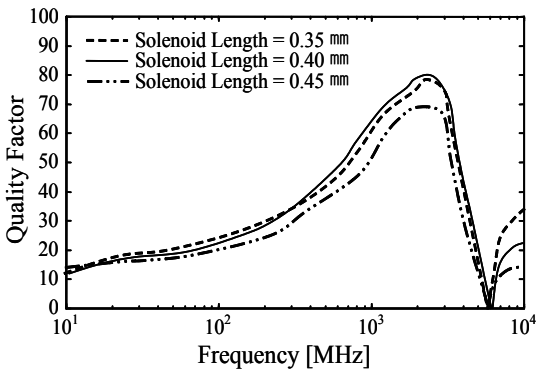
동일 조건에서 코일의 위치는 중앙, 코일의 직경은 40 μ m으로 고정하여 솔레노이드의 길이를 0.35mm, 0.4mm와 0.45mm로 가변하며 시뮬레이션을 수행하였다.

그림 8은 솔레노이드의 길이 변화에 따른 인덕턴스-주파수 특성의 시뮬레이션 결과를 나타낸다. 그림에서 보듯이 솔레노이드의 길이가 0.35mm인 경우 250MHz의 주파수에서 11.2nH, 0.4mm가 10.7nH, 0.45mm가 10.4nH의 인덕턴스를 가진다.



[그림 8] 솔레노이드 길이 변화에 따른 인덕턴스-주파수 특성의 시뮬레이션 결과

그림 9는 솔레노이드의 길이 변화에 따른 품질계수-주파수 특성의 시뮬레이션 결과를 나타낸다. 그림에서 솔레노이드의 길이가 0.35mm인 경우 250MHz의 주파수에서 29.8, 0.4mm가 29.7, 0.45mm가 26.3의 품질계수 값을 가진다. 이는 솔레노이드의 길이가 변함에 따라 코일의 저항 손실이 변할 뿐만 아니라 코일의 피치가 변화하여 도선 간에 발생하는 분산 커패시턴스가 변화하기 때문이다.



[그림 9] 솔레노이드 길이 변화에 따른 품질계수-주파수 특성의 시뮬레이션 결과

그림 8과 9의 결과로부터 솔레노이드의 길이가 0.4mm인 경우에 10.7nH의 인덕턴스, 29.7의 품질계수와 5.85GHz의 가장 높은 SRF를 가진다. 솔레노이드의 길이가 0.35mm인 경우는 11.2nH의 인덕턴스와 29.8의 품질계수로 가장 우수하며 5.6GHz의 SRF를 가진다.

3. 결론

본 논문에서는 시뮬레이션을 통하여 높은 인덕턴스, 고품질계수와 높은 SRF를 갖는 극소형 SMD

솔레노이드 형태의 RF 칩 인덕터를 설계하기 위하여 코일의 직경과 솔레노이드의 위치 및 길이를 변화시켜 실험하였다. $1.0 \times 0.5 \times 0.5 \text{mm}^3$ 크기의 96% Al_2O_3 코어는 $40 \mu\text{m}$ 직경의 구리 코일을 4회 권선하여 8.57nH의 인덕턴스, 37.6의 품질계수와 6.05GHz의 SRF를 가진다. $40 \mu\text{m}$ 직경의 구리 코일을 0.35mm 솔레노이드 길이로 중앙에 6회 권선하였을 경우가 250MHz에서 11.2nH의 인덕턴스, 29.8의 품질계수와 5.6GHz의 SRF로 가장 우수하였다.

본 논문에서는 기존의 소형 RF 칩 인덕터의 성능을 유지하면서 소형 경량의 박막 인덕터의 장점도 살릴 수 있는 극소형의 RF 칩 인덕터가 성공적으로 설계되었다.

참고문헌

- [1] Alex Goldman, "Modern Ferrite Technology," Van Nostrand, pp. 145-185, 225-256, 1990
- [2] Sidbarth Dalmia, Farrokh Ayazi, Madhavan Swaminathan, Sung-Hwan Min, Seock-Hee Lee, Woo-Poung Kim, Dong-Su Kim, Swapan Bhattacharya, Venky Sundaram, George White, and Rao Tummala, "Design of Inductors in Organic Substrate for 1-3 GHz Wireless Applications," IEEE MTT-S Digest, pp. 1405-1408, 2002
- [3] C. Patrick Yue, and S. Simon Wong, "On-Chip Spiral Inductors with Patterned Ground Shields for Si-Based RF IC's," IEEE J. of Solid-State Circuits, vol. 33, No. 5, pp. 743-752, May, 1998