

공심 평면인덕터의 임피던스 해석

부산수산대학교 전기공학과 김영학*
한국전기연구소 전기재료연구부 송재성

Impedance Analysis of Planar Air Core Inductor

National Fishery University of Pusan Y. H. Kim*
Korea ElectroTechnology Research Institute J. S. Song

1. 서론

반도체와 콘덴서, 저항과 같은 소자의 소형화에 의해 전기기기의 소형화 및 경량화가 급속히 진전하고 있으며 이미 휴대전화기와 노트북 PC와 같은 포터블 전기기기는 보급되고 있다. 자기소자도 평면인덕터와 같은 평면 자기소자(1)가 개발됨에 따라 전기기기의 소형화가 더욱 기대되고 있으며 이 소자의 요구가 강한 곳으로 에너지 공급원인 전원부를 들 수 있다. 전원에서도 소프트 스위칭 방식이 확립되어 MHz 스위칭 주파수 시대를 맞이하고 있고 이러한 고주파 대역에서의 평면 자기소자의 이용은 소형 및 고속으로 동작할 수 있으며 소자의 평면구조에 기인한 열의 확산이 용이함에 따라 전류밀도를 비교적 높게 할 수 있는 이점을 가져 수W 정도의 소용량의 전원으로 응용이 크게 기대된다. 본 발표는 평면 공심인덕터에 대해 주파수, 도체간격, 도체폭, 턴수의 변화에 따른 전기적인 특성치의 변화를 이론적으로 검토하였다.

2. 임피던스 해석방법

공심 인덕터의 임피던스 계산에는 R과 L, C로 구성되는 등가회로를 이용하였다. L은 자기 인덕턴스의 경우 직선도체 모델로, 그리고 상호 인덕턴스는 도체의 구조와 전류방향에 따라 계산하였다. C의 계산에는 도체간 용량과 도체와 대지면 사이의 용량을 고려하였으며 R의 계산에는 직류저항과 표피효과에 의한 저항, 근접효과에 의한 저항을 고려하였다(2).

3. 해석결과

그림 1은 직류저항(R_c), 근접효과에 의한 저항(R_p), 표피효과에 의한 저항(R_s), 총저항(R_t)을 나타낸 것이다. 총저항은 도체 두께의 증가에 따라 감소한 후 일정하게 되는 경향을 보인다. 표피효과의 영향이 없는 두께의 영역에서는 총저항은 저항(R_c)의 경향을 따르게 되지만 표피효과가 나타나는 두께부터는 표피효과에 의한 저항이 증가하는 경향을 따르게 된다. 근접효과에 의한 저항은 낮은 주파수에서는 직류저항에 비해 거의 무시되지만 주파수의 증가와 함께 직류저항보다 높게 되는 도체 두께가 존재하여 100MHz의 주파수에서 $20\mu\text{m}$ 이상의 두께에서는 저항(R_p)보다 커지게 된다. 그림2는 도체폭에 대한 저항과 인덕턴스의 변화를 보인 것이다. 10MHz에서는 표피효과에 의한 저항의 증가분과 근접효과에 의한 저항의 증가분이 거의 무시되고, 도체폭의 증가는 도체 단면적의 증가이므로 저항은 w^{-1} 에 비례하여 감소한다. 인덕턴스의 경우, 도체폭이 증가하면 자기 인덕턴스와 상호 인덕턴스 양쪽 모두 감소하기 때문에 도체폭 증가에 따라 인덕턴스가 감소하였다. 그림3은 도체간격에 대한 저항과 인덕턴스의 변화를 나타낸다. 저항은 도체 간격이 $80\mu\text{m}$ 이상이 되면 근접효과에 의한 저항이 감소하여 전체의 저항은 감소한다. 인덕턴스의 경우에도 $80\mu\text{m}$ 의 이상의 도체간격에서는 상호 인덕턴스의 감소에 의해 전체 인덕턴스가 감소하게 된다. 그림4는 도체의 턴수를 변화시킬 때 저항, 인덕턴스를 나타낸다. 턴수가 증가되면 도체의 길이가 증가하기 때문에 저항과 인덕턴스는 증가한다. 증가의 변화가 적선적인 영역에서 인덕턴스는 $n^{1.5}$ 에, 저항은 n^1 에 비례하여 증가한다. 그러나 턴수가 많아 점에 따라 도체길이는 안쪽 단자 쪽으로 증가하기 때문에 길이의 증가에 대한 저항폭은 적어져 일정치에 도달하게 된다. 그러나 인덕턴스는 턴수가 증가함에 따라 안쪽 단자에서

서로 반대방향으로 흐르는 도체가 접근함에 따라 상호 인덕턴스의 부호가 “-”로 되어 인덕턴스는 일단 최대치에 도달한 후 다시 감소하게 된다.

4. 결론

도체 폭이 크짐에 따라 저항과 인덕턴스는 감소한다. 도체간격을 작게할 때 저항, 인덕턴스는 더 이상 증가하지 않는 도체간격이 존재하였다. 턴수가 증가함에 따라 저항은 일단 증가하여 일정치에 도달하지만 인덕턴스는 일단 일정치에 도달한 후 감소한다.

참고문헌

(1)R. F. Soohoo: IEEE Trans. Magn. 15, 1803(1979).

(2)M. Yamaguchi, M. Matumoto, H. Ohzeki, K. I. Arai: IEEE Trans. Magn., 26, 2014(1990).

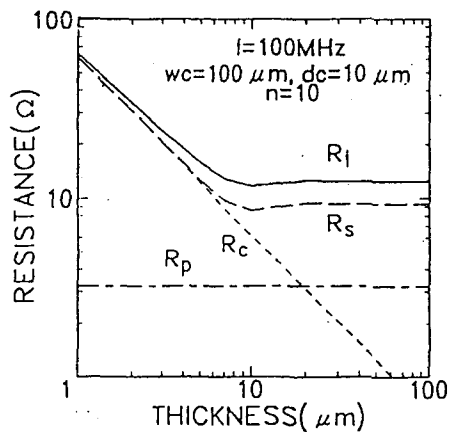


그림 1

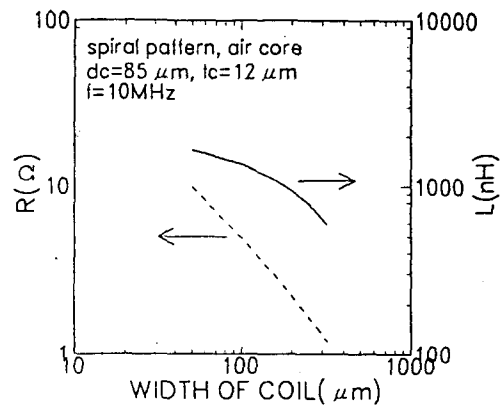


그림 2

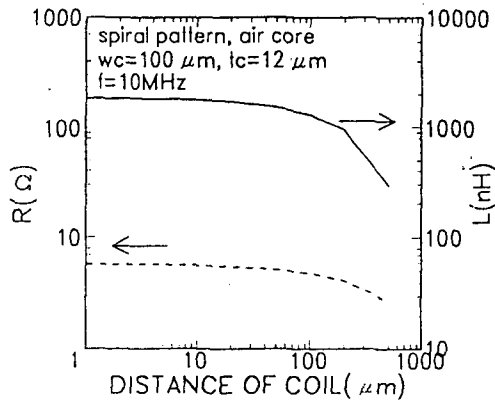


그림 3

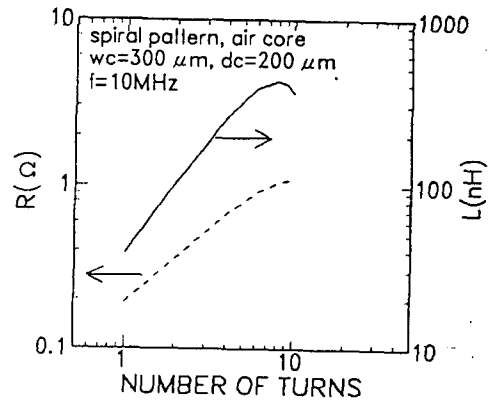


그림 4