

공심 평면인덕터의 임피던스 해석

김영학

부산수산대학교 전기공학과

송재성

한국전기연구소 전기재료연구부 비정질재료연구팀

(1996년 2월 17일 받음, 1996년 6월 28일 최종수정본 받음)

spiral 패턴과 meander 패턴의 공심 평면 인덕터에 대해 주파수, 도체간격, 도체폭, 턴수등을 변화시켜 저항, 인덕턴스와 같은 전기적인 특성치의 이론적인 예측에 대해 검토하였다. 도체폭이 커짐에 따라 저항과 인덕턴스는 감소한다. 이때 Q는 spiral pattern에서는 최대치를 가지는 도체폭이 존재하는 반면 meander pattern에서는 저항의 감소가 인덕턴스의 감소보다 작아지므로 도체폭이 증가하면 Q가 증가하였다. spiral pattern에서는 도체간격을 작게 할 때 저항, 인덕턴스, Q는 더 이상 증가하지 않는 도체간격이 존재하지만 meander pattern에서는 인접 도체 사이의 상호 인덕턴스의 부호가 (-)가 됨에 따라 도체 간격은 가능한 한 커야 한다. 턴수가 증가함에 따라 저항, 인덕턴스는 증가하며 spiral pattern에서는 최대의 Q를 가지는 턴수가 존재하지만 meander pattern에서는 인덕턴스의 증가보다 저항의 증가가 크기 때문에 턴수의 증가에 따라 Q는 감소하였다.

I. 서 론

최근 정보기기의 소형화 및 경량화의 추세에 따라 전원의 소형화가 크게 요구되고 있다. 특히 전원을 구성하는 FET, DIODE와 같은 반도체 소자는 미세가공 제조기술의 진보와 함께 소형화되어 한 개의 칩 속에 내장 가능하지만 전원의 주 요소인 변압기와 인덕터는 현재 사용되고 있는 입체적인 구조로는 소형화에 어려운 문제점을 가지고 있다. 따라서, 인덕터를 소형화시키는 한 방법으로 자성체에 권선을 입히는 종래의 방식과는 달리 인덕터의 구조를 평면적으로 하는 평면 인덕터의 사용이 제안되었다 [1].

이와 같은 평면 인덕터는 기관 위에 박막의 도체층과 절연층, 자성층으로 평면적으로 배치되고 그 크기는 종래의 벌크 인덕터에 비해 아주 작아 충분한 전기적인 특성을 얻기 위해서는 종래의 벌크 인덕터의 사용 주파수보다 높은 인가 주파수로 동작된다[2]. 인덕터의 전기적인 특성은 박막 자성체의 투자율[3], 도체의 저항율과 같은 재료의 물성에 의존하는 요소와 각층의 배치방법과 도체층의 형태와 패턴과 같은 구조적인 요소에 의해 결정된다. 이와 같은 요소들은 평면 인덕터의 설계를 효과적으로 수행하기 위해 고려되어야 하며, 이러한 요소들 중에서 도체층에서 도체 패턴에 대한 전기적인 특성치의 예측은 인덕터의 성능 예측에 기본적인 매우 중요하다. 특히, 고주파 영역에서의 평면 인덕터는 포피효과에 의해 인덕턴스와 저항이 주파수에 따라서 변화하며 도체 사이의 간격

이 아주 작아 이에 의한 근점효과도 고려되어야 한다[4].

본 논문에서는 spiral 패턴과 meander 패턴의 공심 평면 인덕터에 대해 도체간격, 도체폭, 턴수등을 변화시켜 1 MHz-1 GHz의 주파수 대역에서 저항, 인덕턴스와 같은 전기적인 특성치의 이론적인 예측에 대해 검토하였다.

II. 평면코일의 임피던스 계산 방법

근점효과, 표유용량등의 영향을 무시할 수 있는 저주파 영역에서의 박막 공심인덕터의 인덕턴스는 Fig. 1과 같이 구형단면을 가지는 직선상의 도체로부터 계산이 가능하다. 이때 직선 도체의 인덕턴스는 자기 인덕턴스와 상호 인덕턴스를 구해 합으로 나타낼 수 있다. 자기인덕턴스는 식(1)로 나타낸다[5].

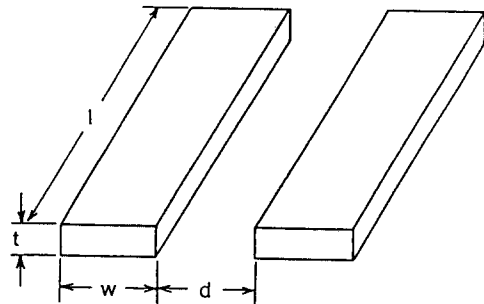


Fig. 1. Shape of conductor.

$$L_M(l, w, t) = 200 \cdot l \cdot \left[\ln \frac{1}{w+t} + 1.193 + 0.22 \frac{w+t}{l} \right] (nII) \quad (1)$$

단, $w(\mu m)$, $t(\mu m)$, $l(mm)$ 은 직선 도체의 폭, 두께, 길이이다. 직선 도체간의 상호 인덕턴스는 식(2)~식(4)로부터 기하학적 평균거리에 근거하여 산출할 수가 있다[6].

$$M_M(l, w, d) = 200 \cdot l \cdot K(l, w, d) (nH) \quad (2)$$

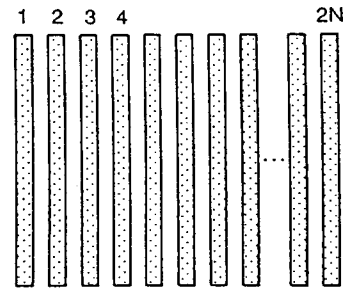
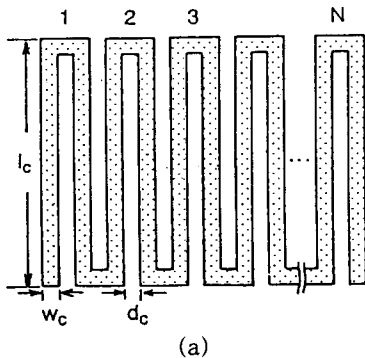
$$K(l, w, d) = \ln \left[\left(\frac{1}{GMD} \right) + \sqrt{1 + \left(\frac{1}{GMD} \right)^2} \right] - \sqrt{1 + \left(\frac{GMD}{l} \right)^2} + \frac{GMD}{l} \quad (3)$$

$$\ln GMD = \ln[(w+d)]$$

$$-\sum_{k=1}^{\infty} \left[\frac{1}{2k(k+1)(2k+1)} \left(\frac{w}{w+d} \right)^{2k} \right] \quad (4)$$

단, d 는 도체간의 거리, GMD는 기하학적 평균거리이다.

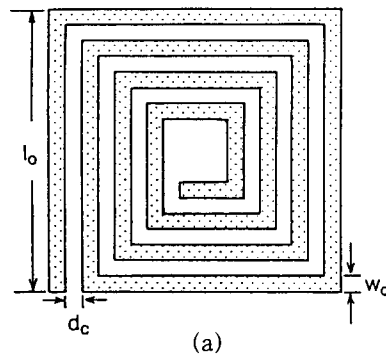
Fig. 2은 meander 패턴과 meander 패턴을 근사화한 모델을 나타낸 것이다. meander 패턴은 그림과 같이 길이 l_c 의 직선 도체간의 부분과 길이 d_c 의 직선상 도체의 부분으로 근사화할 수 있고 도체 간격을 수 μm 까지 미세화한 도체에서는 길이 d_c 는 l_c 에 비해 매우 적어 이 부분에 의한 인덕턴스는 무시할 수 있다. 여기서, N회의 meander 패턴의 횟수를 Fig. 2와 같이 길이 d_c 의 도체의 부분과 단자의 부분을 무시하여 두께 t_c 의 구형단면을 가지



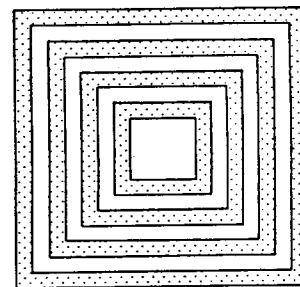
(b)

Fig. 2. Model of meander pattern. (a)meander pattern (b)model

는 평행한 2N회의 직선상 도체로 근사한다. 이 경우 있어서 인덕턴스 L_{AM} 은 도체의 자기 인덕턴스 L_S 와 각 도체간의 상호 인덕턴스 L_M 의 총합으로 되며 (5)식으로 나타낼 수가 있다[4, 7].



(a)



(b)

Fig. 3. Model of spiral pattern. (a)spiral pattern (b) model

$$L_{AM} = 2N \cdot L_S(l_c, w_c, t_c) + 2 \sum_{i=j}^{2N-1} \sum_{j=i+1}^{2N} L_M(l_c, w_c, |i-j| \cdot (w_c + d_c) - w_c) \cdot (-1)^{i-j} \quad (5)$$

spiral 패턴의 인덕턴스, L_{AS} 는 Fig. 3과 같은 모델을 이용하여 (6)식 ~ (9)식과 같이 나타낼 수가 있다[4, 7].

$$L_{AS} = \sum_{i=1}^N M_S(l_i, l_i - (w_c + t_c) \cdot e^{-1.5}) + 2 \sum_{i=1}^N \sum_{j=i+1}^N M_S(l_{sp}(i), l_{sp}(j)) \quad (6)$$

$$M_S(l_i, l_j) = \frac{\mu_0(l_i, l_j)}{\pi} \left[\ln \frac{\sqrt{k_{ij}^2 + l + 1}}{k_{ij}} - k_{ij} \ln(\sqrt{k_{ij}^2 + 1} + k_{ij}) + (k_{ij} + 1) \{ \sqrt{2} - \ln(\sqrt{2} + 1) \} - 2 \sqrt{k_{ij}^2 + 1} \right] \quad (7)$$

$$k_{ij} = \frac{l_i - l_j}{l_i + l_j} \quad (8)$$

$$l_{sp}(i) = l_0 - w_c - (i-1)(w_c + d_c) \quad (9)$$

단, (9)식의 $l_{sp}(i)$ 는 i 번째의 주상도체의 한쪽 길이, N 은 spiral패턴의 turn수, w_c 는 도체폭, d_c 는 도체 간격, l_0 는 spiral 외변의 길이, t_c 는 도체의 두께를 나타낸다.

인덕터의 저항은 간단히 비저항과 단면적, 길이에 의해 결정되지만 주파수의 증가에 따라 표피효과와 근접효과가 나타나므로 이들의 효과에 의해 저항값은 주파수에 따라서 그 값이 변하게 된다. 직류저항과 표피효과에 의해 발생하는 저항의 추가성분의 합인 R_{SDC} 는 (10)식과 (11)식과 같이 된다[8].

$$R_{SDC} = R_{DC} \cdot \frac{\theta}{2} \frac{\sinh\theta + \sin\theta}{\cosh\theta + \cos\theta} \quad (10)$$

$$\theta = t_c \sqrt{\frac{\omega \mu_0}{2\rho_c}} \quad (11)$$

여기서 ω 는 각 주파수, ρ_c 는 도체의 비저항, μ_0 공기중의 투자율을 나타낸다.

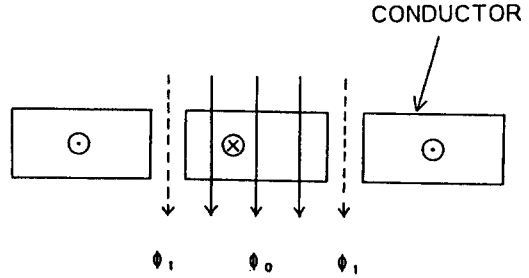


Fig. 4. Explanation of proximity effect.

근접효과[9]는 Fig. 4에 나타내는 바와 같이 다른 도체에 발생하는 자장에 의해 저항이 증가하는 것으로 그 증가분 R_p 를 정의한다. 그림에서 Φ_1 은 도체를 관통하는 자속이고, Φ_0 는 도체 사이를 관통하는 자속을 나타낸다. 이 식을 meander 패턴에 적용시키는 경우 (12)식 ~ (14)식과 같이 된다[4, 7, 10].

$$R_p = \omega \frac{1}{\xi} \frac{\sinh \xi + \sin \xi}{\cosh \xi - \cos \xi} \times \sum_{i=1}^{2N-1} \left| \sum_{j=i+1}^{2N} K_{c1} \cdot (-1)^j \right| \quad (12)$$

$$\xi = w_c \sqrt{\frac{\omega \mu_0}{2\rho_c}} \quad (13)$$

$$K_{c1} = M_M(l_c, l_c, |i-j| \cdot (w_c + d_c) - w_c) - M_M(l_c, w_c, (i), |i-j| \cdot (w_c + d_c) - \frac{w_c}{2}) \quad (14)$$

spiral 인덕터에 있어서의 근접효과에 의한 저항 증가분 R_p 에 대한 식은 (15)식 ~ (17)과 같이 얻어진다[4, 7, 10].

$$R_p = \omega \frac{1}{\xi} \frac{\sinh \xi + \sin \xi}{\cosh \xi - \cos \xi} + 2 \sum_{i=1}^N \left| \sum_{j=1}^{i-1} K_{C2} + \sum_{j=i+1}^N K_{C2} - \sum_{j=1}^N K_{C2} \right| \quad (15)$$

$$K_{C2} = \begin{cases} M_E(l_{sp}(i), l_{sp}(j), w_c, |i-j| \cdot (w_c + d_c)) \\ -M_E(l_{sp}(i), l_{sp}(j), w_c, |i-j| \cdot (w_c + d_c) + \frac{w_c}{2})(i \neq j) \\ M_E(l_{sp}(i), w_c, l_0 - w_c - (w_c + d_c) \\ \cdot |i+j-2|)(i=j) \end{cases} \quad (16)$$

$$M_E(l_i, l_j, w, d) = M_M\left(\frac{l_i + l_j}{2}, w, d\right) - M_M\left(\frac{|l_i - l_j|}{2}, w, d\right)[nH] \quad (17)$$

저항의 주파수특성은 (18)식에 의해 얻어진다[4, 7].

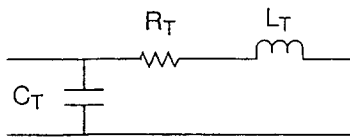
$$R = R_{SDC} + R_P \quad (18)$$

spiral과 meander 패턴에 대해서 구한 인덕턴스에 표피효과에 의한 감소분을 추가함에 의해 인덕턴스가 표피효과에 의존한다는 것을 (19)식으로 나타낼 수 있다[4, 7, 10].

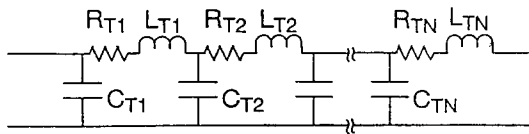
$$L = L_A + \frac{\mu_0 l_I}{8\pi} \left(\frac{1}{\theta} \cdot \frac{\sinh\theta + \sin\theta}{\cosh\theta + \cos\theta} - 1 \right) \quad (19)$$

단, L_A 는 표피효과의 영향을 무시할 수 있는 저주파에 있어서 인덕턴스이고, l_I 는 인덕터 도체의 전체길이이다.

공심 인덕터의 등가회로로서 meander 패턴에서는 Fig. 5(a), spiral 패턴 인덕터에서는 Fig. 5(b)와 같은



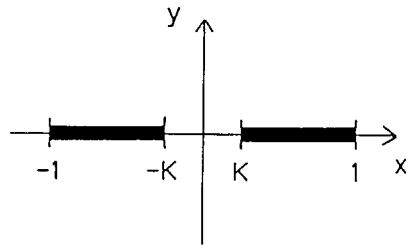
(a)



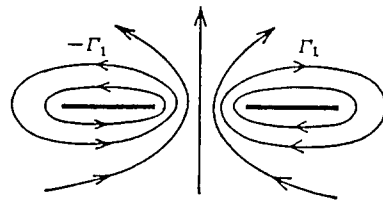
(b)

Fig. 5. Equivalent circuit. (a)meander pattern (b) spiral pattern.

격자형모델을 이용한다. Fig. 5(b)에 있어서의 N은 격자의 수이고, spiral 패턴의 턴수와 같다. 등가회로에 있어서의 표유용량 C_T 는 meander 패턴의 경우, 도체간의 용량 C_{CC} 및 도체-접지면 간의 용량 C_{CG} 만으로 구성되나 spiral 패턴의 경우에는 이러한 용량에 도체-인출선의 용량 C_{CI} 를 고려하였다. 이것은 spiral 패턴의 구조상, 두 단자 중 한 단자는 인덕터의 외변 쪽에, 나머지 한 단자는 인덕터의 내변 쪽에 위치되기 때문에 내변 쪽으로부터 인출선이 필요하기 때문이다. 각 패턴에 있어 도체 사이의 용량 C_{CC} 는 도체 폭 w_c , 도체 간격 d_c 로 둘 때 도체의 두께를 무시하면 Fig. 6에 나타난 모델과 (20)식을 이용하여 도체 사이의 전위차에 의한 전계를 mapping 함에 의



(a)



(b)

Fig. 6. Capacitance between conductors. (a)conductor (b)Equivalent electropotential

해 구할 수 있다. 이 때 Fig. 6(a)는 도체의 위치를 xy좌표로 나타낸 것이고 이 때 그림 중의 k는 (21)식으로 정의되며 k가 1이 되는 것은 도체폭이 0이 되며, 도체폭의 값에 따라 k값을 가지게 된다. Fig. 6(b)는 도체에서 발생하는 전계를 나타낸 것이고 그림 중의 $\pm\Gamma_1$ 은 전속선을 나타낸 것이다.

$$C_{cc} = \epsilon \frac{K(\sqrt{1-k^2})}{K(k)} \quad (20)$$

$$k = \frac{d_c}{2w_c + d_c} \quad (21)$$

$$K(k) = \int_0^{\pi/2} \frac{d\phi}{\sqrt{1 - k^2 \sin^2 \phi}} \quad (22)$$

단, (22)식에서의 $K(k)$ 는 제 1종 완전타원 적분을 나타내며 ϵ 은 도체주위의 유전율이다.

도체-접지면의 용량 및 도체-인출선의 용량은 패턴의 면적과 절연체 혹은 기판의 유전율 및 막 두께를 이용하여 평행평판에 근사하여 구하였다. 평면코일의 임피던스의 계산에는 인덕턴스와 저항, 부유 용량등이 관련되어 있기 때문에 이에 따른 인덕터의 임피던스에 대한 주파수 특성은 계산결과에 의존하게 된다.

meander 패턴에서는 Fig. 5(a)의 저항 R_T 인덕턴스 L_T 및 표유용량 C_T 에 (18)식과 (19)식, (20)식을 각각 대입하여 그 등가회로 인피던스의 실수부를 (23)식과 같이 저항 R_m 으로 하고 허수부를 각주파수 ω 로 나눈 값을 (24)식과 같이 인덕턴스 L_m 으로 정의하였다.

$$R_m = \frac{R_T}{(1 - \omega^2 C_T L_T)^2 + \omega^2 C_T^2 R_T^2} \quad (23)$$

$$L_m = \frac{L_T - C_T R_T^2 - \omega^2 C_T L_T^2}{(1 - \omega^2 C_T L_T)^2 + \omega^2 C_T^2 R_T^2} \quad (24)$$

spiral 패턴에서는 Fig. 5(b)에 있어서의 i 번째의 저항 R_{Ti} , 인덕턴스 L_{Ti} , 및 표유용량 C_{Ti} 에 (18)식과 (19)식, (20)식을 이용하여 얻어진 값을 대입하여 Fig. 5(b)의 등가회로가 가지는 인피던스의 실수부 및 허수부로부터 임피던스를 구하였다.

III. 해석결과

1. 저항해석

Fig. 7은 선폭이 $100 \mu\text{m}$, 선간격이 $10 \mu\text{m}$, 턴수가 10회의 spiral 패턴에 대해 직류저항(R_c), 근접효과에 의한 저항(R_p), 직류저항에 표피효과에 의한 저항을 추가한 저항(R_{SDC}), 이들을 전부 합한 총저항(R_t)을 나타낸 것이다. 총저항은 도체 두께의 증가에 따라 감소한 후 일정하게 되는 경향을 보인다. 이것은 표피효과의 영향이 없는 두께의 영역에서는 총저항은 저항(R_c)의 경향을 따라 두

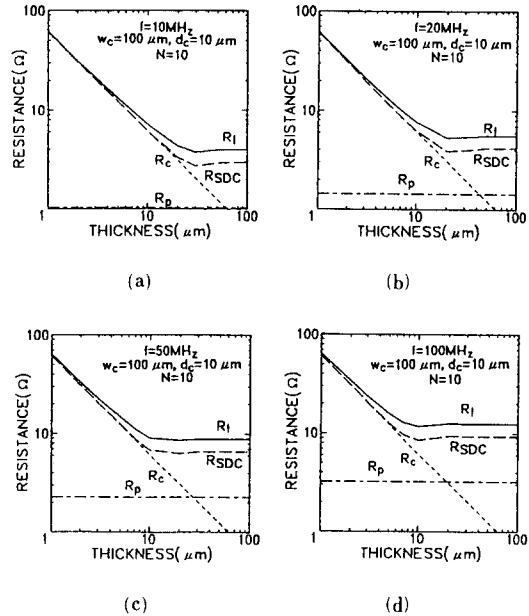


Fig. 7. Dependence of resistance on thickness. (a) 10MHz (b) 20MHz (c) 50MHz (d) 100MHz

께의 감소와 함께 감소되어 포피효과가 나타나는 두께부터는 포피효과에 의한 저항이 증가하여 두께의 증가와 함께 일정하게 되는 경향을 나타내고 있다. 근접효과에 의한 저항은 10 MHz의 주파수에서는 직류저항에 비해 거의 무시되지만 주파수의 증가와 함께 직류저항보다 높게 되는 도체 두께가 존재하며 100 MHz의 주파수에서 $20 \mu\text{m}$ 이상의 두께에서는 근접효과에 의한 저항(R_p)보다 커지게 된다.

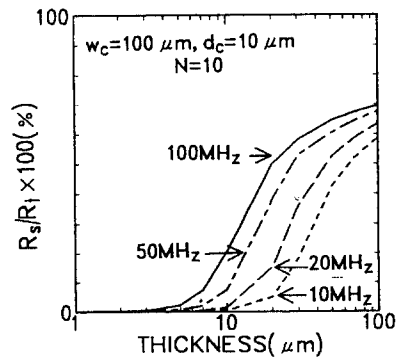


Fig. 8. Percentage of resistance due to skin effect to total resistance.

Fig. 8는 표피효과에 의한 저항 증가분(R_s)의 총저항에 차지하는 비율을 주파수 10 MHz - 100 MHz에 대해 나타낸 것이다. 주파수 10 MHz에서 두께가 10 μm 이상이 되면 표피효과에 의한 저항이 증가하기 시작하며, 23 μm 에서 거의 10 %의 비율을 나타낸다. 이러한 경향은 주파수가 증가와 함께 더욱 현저하여 100 MHz에서는 10 μm 에서는 23 %정도이며 두께가 20 μm 이 되면 55 %를 차지하게 된다. 따라서, 이 그림으로부터 표피효과에 의한 저항은 도체의 두께와 주파수에 크게 의존함을 알 수 있다.

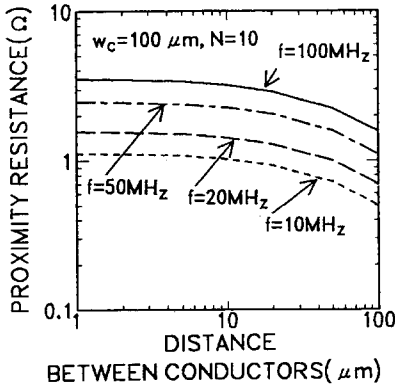


Fig. 9. Dependence of resistance due to proximity effect on distance between conductors

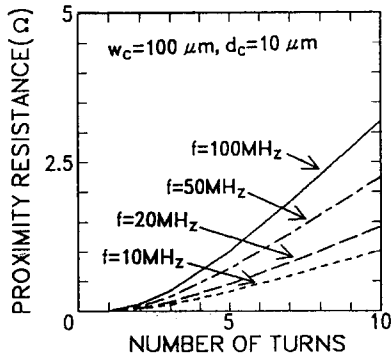


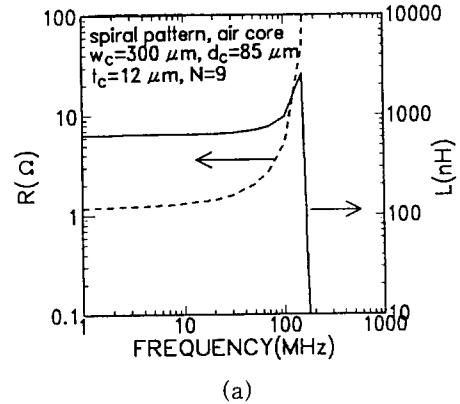
Fig. 10. Dependence of resistance due to proximity effect on number of turns.

Fig. 9는 도체간격에 대한 근접효과의 저항값을 10 MHz - 100 MHz의 주파수영역에 대해 나타낸다. 각 주파수에 있어서 근접효과에 의한 저항은 도체간격이 증가함에 따라 감소한다. Fig. 10에 보이는 바와 같이 도체의

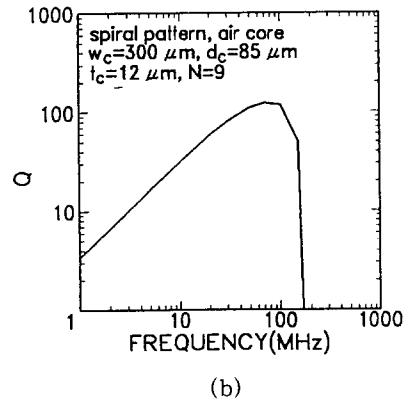
턴수가 증가 하면 이 저항치도 증가하는 것을 나타낸다.

2. spiral pattern의 임피던스 해석

spiral pattern의 경우 인접하고 있는 도체에는 서로 같은 방향으로 전류가 흐르기 때문에 상호 인덕턴스의 부호가 (+)이 되는 것이 특징이다. 이 해석에서는 도체의 외변의 길이를 10 mm, 도체의 두께는 10 MHz의 주파수에서 표피효과가 거의 나타나지 않는 12 μm 을 선택하여 도체폭, 도체간격, 턴수등을 변화시킬 때, 저항과 인덕턴스, Q의 변화에 대해 조사하였다.



(a)



(b)

Fig. 11 Dependence of resistance and inductance, Q on frequency. (a) resistance and inductance (b) Q

Fig. 11은 도체폭이 300 μm , 도체간격이 85 μm , 턴수가 9일때의 주파수에 따른 저항과 인덕턴스, Q의 변화를 나타낸다. Fig. 11(a)에서 10 MHz 이하의 저주파수 대역에서는 저항과 인덕턴스는 주파수에 대하여 거의 변화하지 않는다. 그러나 주파수의 증가와 함께 표피효과와 근접효과가 현저함에 따라 저항이 증가하며, 인덕턴스는

공진주파수 근방에서 증가한다. 이때, 공진주파수는 180 MHz 근방에서 나타난다. Fig. 11(b)에서 나타난 Q의 주파수 의존성은 주파수의 증가와 함께 증가하며 Q의 최대치는 70 MHz 부근에서 110정도가 얻어진다. 이와 같은 저항과 인덕턴스, Q, 공진주파수와 같은 임피던스 특성은 도체의 간격, 폭, 턴수에 따라 크게 달라진다.

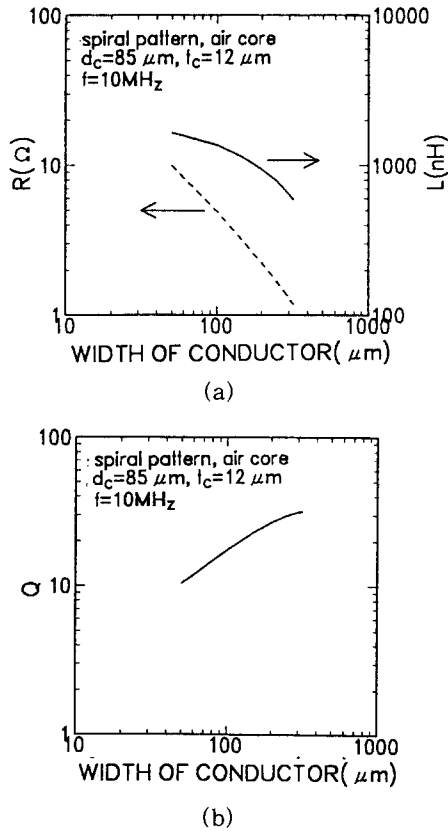


Fig. 12. Dependence of resistance and inductance, Q on width of conductor. (a)resistance and inductance (b)Q

Fig. 12는 도체의 간격을 85 μm 으로 고정하여, 도체폭에 대한 저항과 인덕턴스, Q의 변화를 보인 것이다. Fig. 12(a)에서 주파수 10 MHz에서는 표피효과에 의한 저항의 증가분과 근접효과에 의한 저항의 증가분이 거의 무시되고, 도체폭의 증가는 도체 단면적의 증가이므로 저항은 w^{-1} 에 비례하여 감소한다. 인덕턴스의 경우, (6)식으로 부터 도체폭이 증가하면 자기 인덕턴스와 상호 인덕턴스 양쪽 모두 감소하기 때문에 도체폭 증가에 따라 인덕턴스가 감소한다. Fig. 12(b)에서 도체폭 증가에 대한 Q의

변화는 도체폭의 증가와 함께 증가하지만 인덕턴스의 감소가 저항의 감소보다 커지는 도체폭에서는 Q의 증가가 완만하게 되는 경향을 보인다.

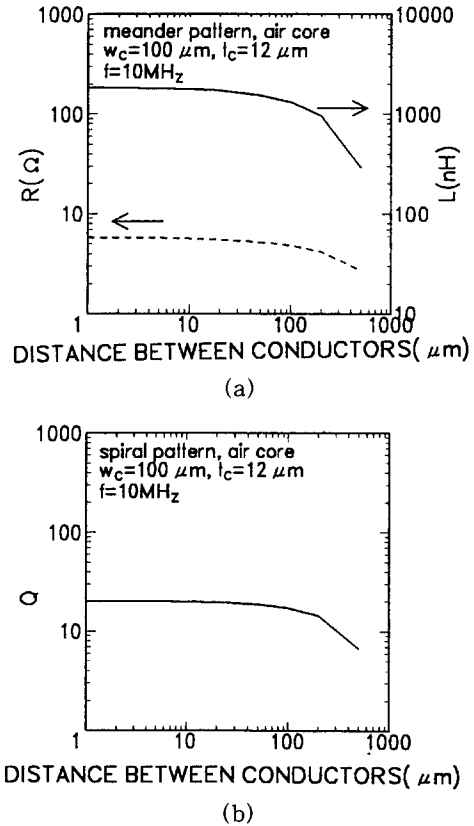
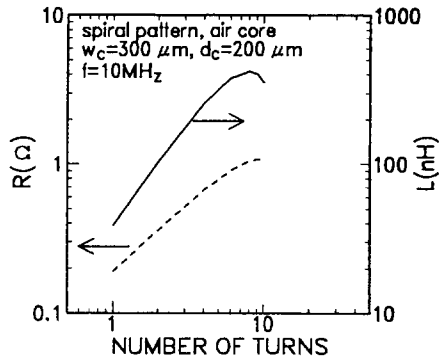


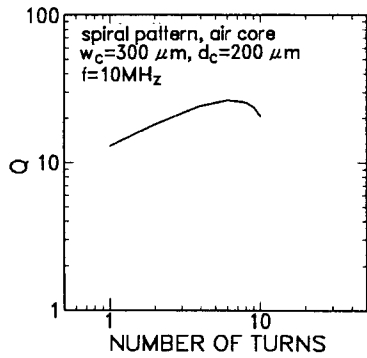
Fig. 13. Dependence of resistance and inductance, Q on distance between conductors. (a)resistance and inductance (b)Q

Fig. 13은 도체간격에 대한 저항과 인덕턴스의 변화를 나타낸다. 이때 도체폭은 100 μm , 턴수는 9로 고정하였다. Fig. 13(a)에서 저항은 도체 간격이 80 μm 이상이 되면 근접효과에 의한 저항이 감소하여 전체의 저항은 감소한다. 그리고 인덕턴스의 경우에도 80 μm 의 이상의 도체간격에서는 상호 인덕턴스의 감소에 의해 전체 인덕턴스가 감소하게 된다. Fig. 13(b)에서 나타내는 바와 같이 인덕턴스가 일정한 80 μm 이하의 도체간격 영역에서는 Q도 거의 일정한 값을 나타내지만 그 이상의 영역에서 인덕턴스의 감소와 함께 Q도 감소하는 경향을 나타낸다.

Fig. 14는 도체의 턴수를 변화시킬 때의 저항, 인덕턴스, Q를 나타낸다. 이때, 도체폭은 300 μm , 도체간격은



(a)



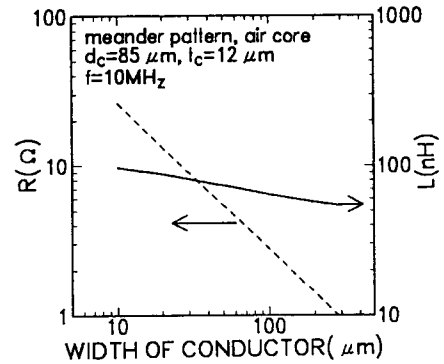
(b)

Fig. 14. Dependence of resistance and inductance, Q on number of turns. (a)resistance and inductance (b)Q

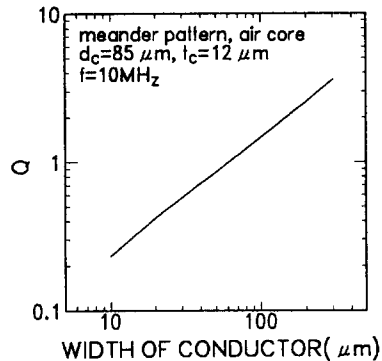
200 μm 로 하였다. Fig. 14(a)에서 턴수가 증가하면 도체의 길이가 증가하기 때문에 저항과 인덕턴스는 증가한다. 직선적으로 변화하는 영역에서의 인덕턴스는 $N^{1.5}$ 에, 저항은 N^1 에 비례하여 증가한다. 그러나 턴수의 증가에 따라 저항은 더 이상 증가하지 않고, 인덕턴스는 최대치에 도달한 후 다시 감소하게 된다. 이것은 턴수가 증가함에 따라 전류가 서로 반대방향으로 흐르는 도체가 서로 접근함에 따라 상호 인덕턴스가 감소하기 때문이다. Fig. 14 (b)에서 나타나는 턴수에 대한 Q의 변화에서 턴수의 증가와 함께 Q는 증가하지만 인덕턴스가 최대가 되는 턴수 부근에서 Q가 최대로 된다.

3. meander pattern의 임피던스 해석

meander pattern의 경우, 인접도체의 전류의 방향이 서로 반대가 됨에 따라 상호인덕턴스의 기여는 기대할 수



(a)

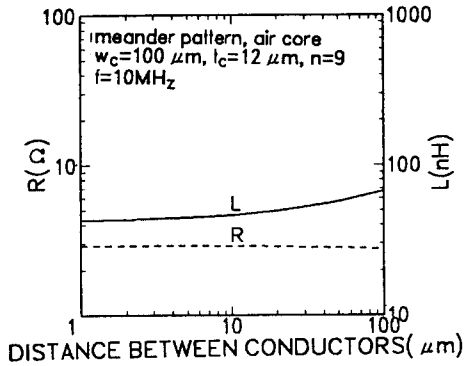


(b)

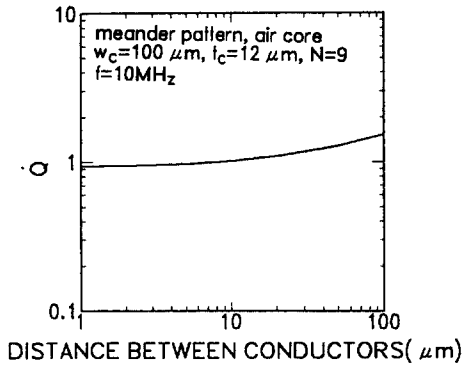
Fig. 15. Dependence of resistance and inductance, Q on width of conductor(meander pattern). (a)resistance and inductance (b)Q

가 없다. 따라서 동일 면적을 가지는 spiral pattern의 평면 인덕티와 비교할 때 인덕턴스 및 Q의 감소가 예상된다.

Fig. 15은 도체간격을 85 μm , 도체폭을 변화시킬 때의 저항과 인덕턴스, Q를 나타낸다. 그림에서 저항은 w^{-1} , 인덕턴스는 $w^{-0.27}$ 에 비례하여 변화한다. spiral 패턴과 비교할 때, Fig. 12에서 보인 바와 같이 인덕턴스는 도체폭의 변화에 대해 곡선적으로 감소함에 비해 meander 패턴의 경우에는 직선적으로 감소하는 경향을 나타낸다. 이것은 meander 패턴에서는 인접된 도체에 흐르는 전류의 방향이 spiral 패턴의 경우와는 달리 서로 반대 방향이므로, 상호 인덕턴스의 부호가 (-)로 되어 도체를 쇄교하는 자속이 감소함에 기인한다. Fig. 15(b)에 나타난 Q의 변화에서도 도체폭에 대한 저항의 감소가 인덕턴스의 감소보다 크기 때문에 거의 $w^{0.75}$ 에 비례하여 변화하는 경향을 나타낸다.



(a)

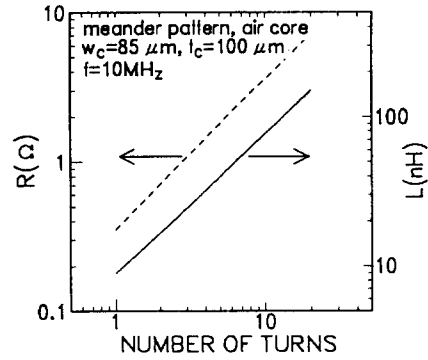


(b)

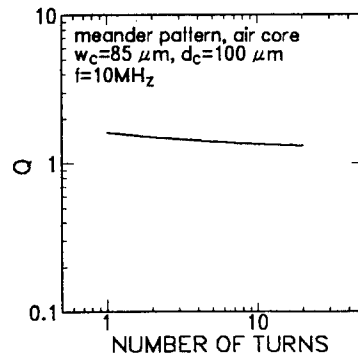
Fig. 16. Dependence of resistance and inductance, Q on distance between conductors(meander pattern). (a)resistance and inductance (b)Q

Fig. 16은 도체간격을 변화시킬 때의 저항, 인덕턴스, Q의 변화를 나타낸 것이다. 저항은 도체간격의 변화에 상관없이 일정한 값을 나타내며, 인덕턴스는 도체 간격이 커짐에 따라 증가하는 경향을 나타낸다. 이것은 앞의 그림에서 설명한 바와 같이 인접한 도체의 상호 인덕턴스의 부호가 (-)이므로 도체간격이 커짐에 따라 상호 인덕턴스가 상승하기 때문이다. Fig. 16(b)에서 나타난 Q의 변화에 있어서도 도체 간격이 커짐에 따라 인덕턴스가 증가하기 때문에 상승하는 경향을 나타낸다.

Fig. 17은 턴수의 변화에 대한 저항, 인덕턴스, Q의 변화를 나타낸다. Fig. 17(a)에서 턴수의 증가에 따라 단순히 도체 길이만이 증가하기 때문에 저항과 인덕턴스는 턴수가 증가함에 따라 직선적으로 증가한다. Fig. 17(b)에서 나타나는 Q는 인덕턴스의 증가가 저항보다 작아 턴수의 증가와 함께 감소하는 경향을 나타낸다.



(a)



(b)

Fig. 17. Dependence of resistance and inductance, Q on number of turns(meander pattern). (a)resistance and inductance (b)Q

IV. 결 론

spiral 패턴과 meander 패턴의 공심 평면 인덕터에 대해 주파수, 도체간격, 도체폭, 턴수등을 변화시켜 저항, 인덕턴스와 같은 전기적인 특성치의 이론적인 예측에 대해 검토하였다. 본 논문에서 얻어진 결과를 아래에 기술한다.

1. 도체폭이 커짐에 따라 저항과 인덕턴스는 감소한다. 도체폭의 변화에 따른 Q는 spiral pattern에서는 어떤 도체폭에 대해 최대치를 가지는 반면 meander pattern에서는 저항의 감소가 인덕턴스의 감소보다 작아지므로 도체폭이 증가하면 Q는 커진다.
2. spiral pattern에서는 도체간격을 작게할 때 저항, 인덕턴스, Q는 더 이상 증가하지 않는 도체간격이 존재하지만 meander pattern에서는 인접도체간의

상호 인덕턴스의 부호가 (-)가 됨에 따라 도체간격은 가능한 한 커야 한다

3. 턴수가 증가함에 따라 저항, 인덕턴스는 증가하며 spiral pattern에서는 최대의 Q를 가지는 턴수가 존재하지만 meander pattern에서는 인덕턴스의 증가보다 저항의 증가가 크기 때문에 턴수의 증가에 따라 Q는 감소한다.

감사의 글

본 연구에 대해 귀중한 조언을 해 주신 日本東北大學 電氣通信研究所 荒井賢一 교수님께 감사드립니다.

V. 참고 문헌

[1] R. F. Soohoo : IEEE Trans. Magn. 15, 1803 (1979).
 [2] K. Kawabe, H. Koyama and K. Shirae : IEEE

Trans. Magn. 20, 1804(1984)
 [3] T. Kawazu, M. Yamaguchi, and K. I. Arai : IEEE Trans. Magn. 30, 4641(1994).
 [4] M. Yamaguchi, M. Matumoto, H. Ohzeki, K. I. Arai : IEEE Trans. Magn., 26, 2014(1990).
 [5] H. M. Greenhouse : IEEE Trans. Parts, Hyblid and Packing, PHP -10, 101(1974).
 [6] F. E. Terman : Radio Engineering Handbook, McGraq-Hill, New York, (1943).
 [7] O. Oshiro, H. Tsujimoto and K. Shirae : IEEE Trans. Magn., 23, 3759(1987).
 [8] H. Sakaki : 電子情報通信學會 論文誌 B-1, J73-B-I, No. 7, 618(1990).
 [9] B. Carsten : "High Frequency Conductor Losses in Switchmode Magnetics," High Frequency Power Converter Conference, 155(1986).
 [10] R. M. Bozorth : "Ferromagnetism", Van Nostrand, 769(1968).

Impedence Analysis of Planar Air Core Inductor

Y. H. Kim

*Department of Electrical Engineering, National Fishery
 University of Pusan*

J. S. Song

*Amorphous Materials Team, Division of Electrical Materials,
 Korea ElectroTechonology Research Institute*

(Received 17 February 1996, in final form 28 June 1996)

This paper discussed on the impedance analysis of the planar air core inductors having spiral pattern and meander pattern. The width and distance of conductor, and number of turns were varied. As the width of conductor increased, both resistance and inductance decreased and there existed an maximum value in Q for spiral pattern. But Q increased with increasing width of conductor in meander pattern. In spiral pattern, there existed a distance between conductors where inductance became constant and Q became maximum, while the distance between conductors must be as large as possible to obtain large Q because the mutual inductance of meander pattern inductor has negative sign due to opposite current direction at adjacent conductor. Resistance and inductance increased with increasing the number of turns. There existed maximum Q at certain number of turns in spiral pattern. But Q became small in the meander pattern because increase of resistance was larger than increase of inductance with increasing number of turns.