

1. 두 인덕터가 직렬로 연결되어 있고 각각의 인덕턴스가 $L_1 = 4\text{H}$, $L_2 = 9\text{H}$ 이며, 결합 계수가 $k = 0.6$ 일 때, 전체 직렬 인덕턴스 L_{total} 의 최대값과 최소값을 구하시오.

풀이 및 해설: 직렬 연결된 두 인덕터의 전체 인덕턴스는 상호 유도 효과에 따라 다음과 같이 달라진다.

$$L_{total} = L_1 + L_2 \pm 2M$$

여기서 상호 유도 계수

$$M = k\sqrt{L_1L_2} = 0.6 \times \sqrt{4 \times 9} = 0.6 \times 6 = 3.6$$

따라서

$$L_{max} = 4 + 9 + 2 \times 3.6 = 13 + 7.2 = 20.2\text{H}$$

$$L_{min} = 4 + 9 - 2 \times 3.6 = 13 - 7.2 = 5.8\text{H}$$

답: 최대값 20.2H, 최소값 5.8H

2. 두 코일 사이 결합 계수가 $k = 0.9$, 자기유도 계수가 각각 $L_1 = 16\text{H}$, $L_2 = 25\text{H}$ 일 때, 두 코일을 병렬 연결한 전체 인덕턴스를 구하시오. (단, 인덕터는 같은 극성으로 결합되어 있음)

풀이 및 해설: 병렬 연결 시 전체 인덕턴스는

$$L_{parallel} = \frac{L_1L_2 - M^2}{L_1 + L_2 \mp 2M}$$

상호 유도 계수

$$M = k\sqrt{L_1L_2} = 0.9 \times \sqrt{16 \times 25} = 0.9 \times 20 = 18$$

극성 동일하므로 부호는 + 분자:

$$L_1L_2 - M^2 = 16 \times 25 - 18^2 = 400 - 324 = 76$$

분모:

$$L_1 + L_2 + 2M = 16 + 25 + 36 = 77$$

따라서

$$L_{parallel} = \frac{76}{77} \approx 0.987\text{H}$$

답: 약 0.987H

3. 상호유도 회로에서 두 코일의 인덕턴스 $L_1 = 1\text{H}$, $L_2 = 4\text{H}$, 상호유도 계수 $M = 0.5\text{H}$ 일 때, 코일 1에 $I_1 = 3\text{A}$ 흐르고, 코일 2에 $I_2 = -2\text{A}$ 가 흐를 때 총 자기 에너지를 구하시오.

풀이 및 해설: 총 자기 에너지는

$$W = \frac{1}{2}L_1I_1^2 + \frac{1}{2}L_2I_2^2 + MI_1I_2$$

값 대입:

$$\begin{aligned} W &= \frac{1}{2} \times 1 \times 3^2 + \frac{1}{2} \times 4 \times (-2)^2 + 0.5 \times 3 \times (-2) \\ &= \frac{1}{2} \times 9 + \frac{1}{2} \times 4 \times 4 - 3 = 4.5 + 8 - 3 = 9.5(J) \end{aligned}$$

답: $W = 9.5\text{J}$

4. 두 코일이 서로 45도 각도로 배치되어 있을 때, 결합 계수 $k_0 = 0.8$ 일 경우 실제 결합 계수를 구하시오.

풀이 및 해설: 두 코일이 비스듬히 배치되면 결합 계수는 각도에 따라 감소한다. 각도 θ 일 때

$$k = k_0 \cos \theta$$

여기서 $\theta = 45^\circ$, $\cos 45^\circ = \frac{\sqrt{2}}{2} \approx 0.707$ 따라서

$$k = 0.8 \times 0.707 = 0.5656$$

답: 약 0.566

5. 인덕터의 기생 용량과 저항이 존재할 때 고유 진동 주파수 f_0 를 구하는 식을 유도하시오.

풀이 및 해설: 인덕터에 기생 용량 C 가 존재하면 LC 회로가 되어 고유 진동 주파수가 생긴다. 기생 저항 R 은 감쇠를 일으킨다. 진동 주파수는

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

감쇠가 있을 경우 감쇠 계수 $\alpha = \frac{R}{2L}$, 감쇠 진동 주파수는

$$\omega_d = \sqrt{\omega_0^2 - \alpha^2}$$

답:

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}, \quad \omega_d = \sqrt{\frac{1}{LC} - \left(\frac{R}{2L}\right)^2}$$

6. 상호유도 회로에서 두 코일의 자기 인덕턴스가 L_1, L_2 , 상호유도 계수가 M 일 때, 회로 매트릭스를 구성하고 그 행렬식을 구하시오.

풀이 및 해설: 회로 매트릭스 (인덕턴스 행렬)는

$$\mathbf{L} = \begin{bmatrix} L_1 & M \\ M & L_2 \end{bmatrix}$$

행렬식은

$$\det(\mathbf{L}) = L_1 L_2 - M^2$$

답:

$$\det(\mathbf{L}) = L_1 L_2 - M^2$$

7. 두 코일의 상호 인덕턴스 M 을 측정하기 위해 1차 코일에 교류 전압 V_1 을 인가하고 2차 코일에 유도 전압 V_2 가 측정되었다. 이때 두 코일의 권선수 N_1, N_2 가 알려져 있으면 M 을 구하는 방법을 설명하시오.

풀이 및 해설: 상호 인덕턴스는

$$M = \frac{V_2}{j\omega I_1}$$

또한 권선수 비와 전압은 비례 관계가 있어,

$$\frac{V_2}{V_1} \approx \frac{N_2}{N_1}$$

이를 이용해 교류 실험에서 유도 전압과 전류, 주파수를 측정해 M 을 구할 수 있다.

답: 교류 전압, 전류, 주파수 및 권선수 비를 이용해

$$M = \frac{V_2}{j\omega I_1}$$

로 산출

8. 두 코일이 자기적으로 결합된 회로에서, 상호유도 계수가 $M = 0$ 이 되도록 하는 실제 설계 조건을 2가지 이상 제시하시오.

풀이 및 해설: - 코일 간 거리를 충분히 멀리하여 자기장이 도달하지 않게 한다. - 두 코일의 권선 방향을 서로 90도 이상 틀어 자기장 결합을 최소화 한다. - 코어가 없거나 자성체가 없는 상태로 만든다.

답: 거리를 멀리하거나, 권선 방향을 직각으로 배치하거나, 코어를 제거한다.

9. 자기유도 회로에서 전류의 갑작스러운 변화를 억제하기 위한 설계 요소 3가지를 논하시오.

풀이 및 해설: - 인덕턴스 크기를 적절히 크게 설계 - 페라이트 코어 등 자성 재료 사용 - 직렬 저항 또는 서지 억제 소자 병렬 연결

답: 큰 인덕턴스, 고투과율 코어, 서지 억제 소자 사용

10. 교류 자기장 내 두 코일의 상호유도 전압이 위상차를 갖는 이유를 설명하시오.

풀이 및 해설: 상호유도 전압은 원인 전류의 시간 변화율에 비례하므로, 전류와 90도 위상 차이가 난다. 또한 두 코일 사이의 거리, 권선 및 코어 자성 특성 등으로 인해 위상차가 발생한다.

답: 전류 변화율 특성과 코일 특성에 의해 위상차가 발생한다

11. 두 코일이 완전히 결합되어 있을 때, 각 코일의 인덕턴스가 서로 다른 경우 전압과 전류의 위상 관계를 분석하시오.

풀이 및 해설: 완전 결합 시 두 코일은 하나의 단일 인덕터처럼 작동한다. 다만 인덕턴스 차이로 인해 전압과 전류 위상은 코일별로 약간 차이가 있으나 전체적으로 90도 차이가 유지된다.

답: 완전 결합 상태에서 위상차는 90도 유지, 인덕턴스 차이로 미세 변화 존재

12. 상호유도 계수가 M 일 때, 두 코일의 자기에너지 총합을 인덕턴스와 전류로 표현한 식을 증명하시오.

풀이 및 해설: 자기 에너지 총합은

$$W = \frac{1}{2}L_1I_1^2 + \frac{1}{2}L_2I_2^2 + MI_1I_2$$

코일 간 자기선속과 에너지 저장 원리를 이용해 증명 가능하다.

답: 위 식으로 표현되며, 자기선속 중첩에 기인함

13. 상호유도 계수와 결합 계수 간의 물리적 차이를 설명하고, 실제 회로에서의 적용 차이를 기술하시오.

풀이 및 해설: - 상호유도 계수 M 은 두 코일의 절대 자기 결합량(단위 헨리) - 결합 계수 k 는 무차원으로 $M = k\sqrt{L_1L_2}$ 실제 회로 설계 시 결합 계수는 코일 배치 및 자성 특성을 평가하는 지표로 활용된다.

답: M 은 절대 결합량, k 는 상대적 결합 정도이며, 설계 및 해석에 각각 쓰인다

14. 자기유도에 의한 유도 전압이 $e = -L\frac{di}{dt}$ 일 때, 음의 부호가 가지는 물리적 의미를 엄밀히 해석하시오.

풀이 및 해설: 음의 부호는 렌츠의 법칙에 따른 것으로, 유도 전압이 전류 변화에 반대 방향으로 작용함을 의미한다. 이는 에너지 보존과 자기장 변화 저항 메커니즘을 나타낸다.

답: 유도 전압이 전류 변화에 저항하는 방향임을 나타낸다

15. 인덕터 설계 시 권선 수가 증가할 때 자기유도 계수와 자기손실에 미치는 영향에 대해 논하시오.

풀이 및 해설: 권선 수가 증가하면 자기유도 계수는 대략 N^2 에 비례해 증가하나, 권선 저항 증가 및 와전류 손실도 증가해 효율 저하 가능성이 있다. 적절한 균형 필요.

답: 권선 수 증가 시 인덕턴스는 증가, 손실도 증가하여 설계 균형 필요

16. 자기유도 회로에서 비선형 코어 재질을 사용할 경우 발생할 수 있는 문제점과 대책을 기술하시오.

풀이 및 해설: 비선형 코어는 자기 포화, 히스테리시스 손실, 비선형 인덕턴스 변화를 유발한다. 대책으로는 적절한 설계 여유, 코어 재질 선택, 온도 관리 등이 있다.

답: 자기 포화 및 손실 증가 문제 발생, 설계 여유 확보 및 재질 선택 필요

17. 고주파 자기유도 회로에서 기생 효과(기생 용량, 기생 저항 등)가 회로 특성에 미치는 영향과 대응 방법을 논하시오.

풀이 및 해설: 기생 용량은 공진 현상 및 신호 왜곡 유발, 기생 저항은 손실 증가 및 Q값 저하를 초래한다. 대응법은 차폐, 레이아웃 최적화, 고주파용 부품 사용 등이다.

답: 기생 효과로 신호 왜곡 및 손실 증가, 차폐와 최적화로 대응

18. 변압기 설계 시 권선 상호유도 손실을 최소화하는 구조적 설계 요소를 3가지 이상 제시하시오.

풀이 및 해설: - 권선 간 적절한 간격 유지 - 철심 설계 최적화 - 권선의 병렬 배열 및 절연 강화

답: 간격 유지, 철심 최적화, 권선 배열 및 절연

19. 자기유도 및 상호유도 현상을 설명하는 맥스웰 방정식 항을 명시하고 간략 설명하시오.

풀이 및 해설: 전자기 유도는 맥스웰-패러데이 법칙

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}$$

에 의해 설명된다. 변화하는 자기장 \mathbf{B} 가 전기장 \mathbf{E} 를 유도한다는 원리다.

답:

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}$$

변화하는 자기장이 전기장을 유도함

20. 다중 코일 상호유도 회로에서 n 개의 코일 간 인덕턴스 행렬 \mathbf{L} 의 성질과 이를 활용한 회로 해석 방법을 간단히 설명하시오.

풀이 및 해설: 인덕턴스 행렬 \mathbf{L} 은 대칭 행렬이며, 각 원소는

$$L_{ii} = \text{자기유도 계수}, \quad L_{ij} = \text{상호유도 계수}$$

이용해 복잡한 상호작용 해석 및 에너지 계산에 활용한다.

답: 대칭 행렬, 자기유도와 상호유도 계수 포함, 회로 해석 및 에너지 계산 활용