대학물리학 (제8판) 연습문제 풀이 (21장) - by 송현석

1. 원형 고리 형태의 도선이 지면 위에 놓여 있다.
지면 안으로 들어가는 자기장이 감소하고 있다면, 이 도선에 유도되는 전류의 방향은?

지면 안으로 들어가는 자기장이 감소하면 회로 면을 통과하는 자기선속이 감소한다.
렌츠의 법칙에 따라 원래의 자기선속을 유지하려 하므로
감소한 자기선속을 증가시키기 위해 지면 안으로 들어가는 자기장이 증가하게 된다.
따라서, 도선에 유도되는 전류의 방향은 시계방향이다.

2. 저항이 $10.0\ \Omega$인 회로가 자기장 내에서 움직일 때 운동에너지가 일정한 비율 $1.00\ \mathrm{mJ/s}$로 감소하고 있다고 한다. 이때 회로에 유도된 전류는 얼마인가?

$$P = \left|\frac{dW}{dt}\right| = I\epsilon = \left|\frac{dK}{dt}\right| = |-1.00\ \mathrm{mJ/s}| = |-1.00\times10^{-3}\ \mathrm{J/s}|$$

$$\Rightarrow \quad \epsilon = \frac{P}{I} = \frac{1}{I}\left|\frac{dW}{dt}\right| = \frac{1}{I}\left|\frac{dK}{dt}\right| = \frac{1}{I}\times(1.00\ \mathrm{mJ/s}) = \frac{1}{I}\times(1.00\times10^{-3}\ \mathrm{J/s})$$

$$I = \frac{\epsilon}{R} = \frac{\frac{1}{I}\times(1.00\times10^{-3}\ \mathrm{J/s})}{R} = \frac{1.00\times10^{-3}\ \mathrm{J/s}}{IR}$$

$$\Rightarrow \quad I^2 = \frac{1.00\times10^{-3}\ \mathrm{J/s}}{R} = \frac{1.00\times10^{-3}\ \mathrm{J/s}}{10.0\ \Omega} = 1.00\times10^{-4}\ \mathrm{J/\Omega\cdot s}$$

$$\Rightarrow \quad I = \sqrt{1.00\times10^{-4}\ \mathrm{J/\Omega\cdot s}} = 1.00\times10^{-2}\ \mathrm{A} = 0.01\ \mathrm{A}$$

3. 크기가 $0.300\ \mathrm{T}$인 균일한 자기장이 존재하는 공간이 있다. 반지름이 $4.00\ \mathrm{cm}$인 원형 회로를 회로의 면에 자기장이 수직으로 통과하도록 놓았다. 이 원형 회로를 $0.0100\ \mathrm{s}$ 동안에 90° 만큼 회전하여 원형 회로의 면이 자기장과 평행하게 되었다.
이 시간 동안에 원형 회로에 유도되는 평균 유도 기전력을 구하여라.

$B = 0.300\ \mathrm{T}$
$A = \pi r^2 = \pi\times(4.00\times10^{-2}\ \mathrm{m})^2 = 16.0\pi\times10^{-4}\ \mathrm{m}^2$
$\theta_f = 90^\circ, \quad \theta_i = 0^\circ$
$\Delta t = 0.0100\ \mathrm{s}$

$$\Phi_B = \vec{B}\cdot\vec{A} = BA\cos\theta$$

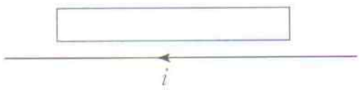
$$\epsilon = -\frac{\Delta\Phi_B}{\Delta t} = -\frac{BA\cos90^\circ - BA\cos0^\circ}{\Delta t} = \frac{BA}{\Delta t} = \frac{(0.300\ \mathrm{T})\times(16.0\pi\times10^{-4}\ \mathrm{m}^2)}{0.0100\ \mathrm{s}}$$

$$\approx 0.151\ \mathrm{T\cdot m^2/s}$$

$$= 0.151\ \mathrm{V}$$

대학물리학 (제8판) 연습문제 풀이 (21장) - by 송현석

4. 전류가 흐르는 매우 긴 도선이 직사각형 도선 옆에 그림과 같이 놓여 있다.



(가) 직사각형 도선을 긴 도선 쪽으로 움직일 때, 직사각형 도선에 유도되는 전류 방향은?

전류가 흐르는 긴 직선도선 주위의 자기장의 세기 $B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} \quad \Rightarrow \quad B \sim \frac{1}{r}$

직사각형 도선이 전류가 흐르는 긴 직선도선쪽으로 움직이면 $\Rightarrow$ r 감소

$\Rightarrow$ B 증가 $\Rightarrow$ B 증가의 상쇄를위해 ϵ 발생 $\Rightarrow$ I' 발생 < 반시계방향 >

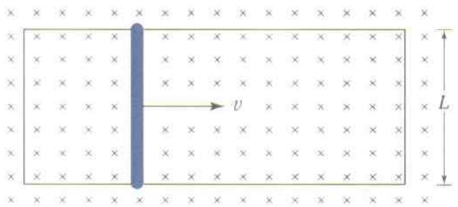
(나) 도선에 흐르는 전류가 증가할 때, 직사각형 도선에 유도되는 전류 방향은?

전류가 흐르는 긴 직선도선 주위의 자기장의 세기 $B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} \quad \Rightarrow \quad B \sim I$

전류가 흐르는 긴 직선도선의 전류가 증가하면 $\Rightarrow$ I 증가

$\Rightarrow$ B 증가 $\Rightarrow$ B 증가의 상쇄를위해 ϵ 발생 $\Rightarrow$ I' 발생 < 반시계방향 >

5. 저항이 없는 직사각형 도선이 있고, 세기가 B로 일정한 자기장이 모든 영역에서 지면에 수직하게 존재한다. 저항이 R이고 길이가 L인 금속막대를 일정한 속력 v로 잡아당기면, 금속막대를 통해 흐르는 전류의 세기는 얼마인가?



< 좌측 >

$$\epsilon = -\frac{d\Phi_B}{dt} = -\frac{d}{dt}(BLx) = -BL\frac{dx}{dt} = -BLv$$

$$\Rightarrow \quad I_{좌} = \frac{\epsilon}{R} = -\frac{BLv}{R}$$ < 반시계방향 > < 윗방향 >

< 우측 >

$$\epsilon = -\frac{d\Phi_B}{dt} = -\frac{d}{dt}(BLx) = -BL\frac{dx}{dt} = +BLv$$

$$\Rightarrow \quad I_{우} = \frac{\epsilon}{R} = +\frac{BLv}{R}$$ < 시계방향 > < 윗방향 >

< 금속막대에서는 좌측과 우측에서 발생한 전류가 같은 방향 >

$$\Rightarrow \quad I = I_{좌} + I_{우} = 2 \times \frac{BLv}{R} = 2\frac{BLv}{R}$$ < 윗방향 >

대학물리학 (제8판) 연습문제 풀이 (21장) - by 송현석

**6. 인덕턴스가 L인 두 개의 코일이 서로 떨어져 평행으로 연결되어 있다.
이 병렬연결의 총 인덕턴스는 얼마인가?**

$$V = IR \quad \Rightarrow \quad V \sim R \quad \Rightarrow \quad \begin{cases} \text{직렬}: & R_{eq} = R_1 + R_2 + \cdots\cdots \\ \text{병렬}: & \dfrac{1}{R_{eq}} = \dfrac{1}{R_1} + \dfrac{1}{R_2} + \cdots\cdots \end{cases}$$

$$V = \frac{Q}{C} \quad \Rightarrow \quad V \sim \frac{1}{C} \quad \Rightarrow \quad \begin{cases} \text{직렬}: & \dfrac{1}{C_{eq}} = \dfrac{1}{C_1} + \dfrac{1}{C_2} + \cdots\cdots \\ \text{병렬}: & C_{eq} = C_1 + C_2 + \cdots\cdots \end{cases}$$

$$V = L\frac{dI}{dt} \quad \Rightarrow \quad V \sim L \quad \Rightarrow \quad \begin{cases} \text{직렬}: & L_{eq} = L_1 + L_2 + \cdots\cdots \\ \text{병렬}: & \dfrac{1}{L_{eq}} = \dfrac{1}{L_1} + \dfrac{1}{L_2} + \cdots\cdots \end{cases}$$

$$\Rightarrow \quad \frac{1}{L_{eq}} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} = \frac{1}{L} + \frac{1}{L} = \frac{2}{L} \quad \Rightarrow \quad L_{eq} = \frac{1}{2}L$$

**7. $1/16$초 동안 솔레노이드에 흐르는 전류가 $2.00\ \mathrm{A}$에서 $0\ \mathrm{A}$로 일정하게 감소하고 있다.
이 솔레노이드의 인덕턴스가 $0.250\ \mathrm{H}$일 때, 유도기전력의 크기를 구하여라.**

$$\epsilon = L\left|\frac{\Delta i}{\Delta t}\right| = (0.250\ \mathrm{H}) \times \left|\frac{0\ \mathrm{A} - 2.00\ \mathrm{A}}{1/16\ \mathrm{s}}\right| = (0.250\ \mathrm{H}) \times (32.0\ \mathrm{A/s}) = 8.00\ \mathrm{V}$$

**8. 반지름 $25.0\ \mathrm{mm}$인 긴 솔레노이드에 도선이 $1.00\ \mathrm{cm}$에 100번씩 감겨 있다.
반지름이 $5.00\ \mathrm{cm}$인 원형 회로가 이 솔레노이드를 둘러싸는 모양으로 놓여 있다.
이 회로와 솔레노이드의 축은 일치한다.
솔레노이드에 흐르는 전류가 $1.00\ \mathrm{A}$에서 $0.500\ \mathrm{A}$까지 $10.0\ \mathrm{ms}$동안 균일하게 감소되었다.
원형 회로에 유도되는 유도기전력을 구하여라.**

$$r_{\text{솔}} = 2.50 \times 10^{-2}\ \mathrm{m}, \qquad A_{\text{솔}} = \pi r_{\text{솔}}^2 = \pi \times (2.50 \times 10^{-2}\ \mathrm{m})^2 \approx 1.96 \times 10^{-3}\ \mathrm{m}^2$$

$$n = \frac{N}{l} = \frac{100}{1.00 \times 10^{-2}\ \mathrm{m}} = 1 \times 10^4\ /\mathrm{m}$$

$$B_{\text{솔}} = \mu_0 n I, \qquad \Phi_B = B_{\text{솔}} A_{\text{솔}} = \mu_0 n I \times \pi r_{\text{솔}}^2$$

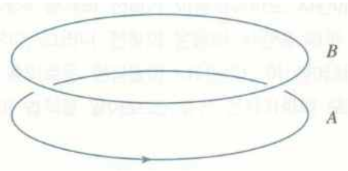
$$\epsilon = -\frac{\Delta \Phi_B}{\Delta t} = -\frac{\Delta(B_{\text{솔}} A_{\text{솔}} \cos 0^\circ)}{\Delta t} = -\frac{\Delta(\mu_0 n I \times \pi r_{\text{솔}}^2)}{\Delta t} = -\mu_0 n \pi r_{\text{솔}}^2 \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

$$= -(4\pi \times 10^{-7}\ \mathrm{T \cdot m/A}) \times (1 \times 10^4/\mathrm{m}) \times \pi \times (2.50 \times 10^{-2}\ \mathrm{m})^2 \times \left(\frac{-0.5\ \mathrm{A}}{1 \times 10^{-2}\ \mathrm{s}}\right)$$

$$\approx +1.234 \times 10^{-3}\ \mathrm{T \cdot m} = +1.234 \times 10^{-3}\ \mathrm{V} = +1.234\ \mathrm{mV}$$

대학물리학 (제8판) 연습문제 풀이 (21장) - by 송현석

9. 두 개의 원형 회로 A와 B가 그림과 같이 서로 나란히 놓여 있다. 회로 A에는 반시계 방향으로 전류가 흐르고 있는데, 그 전류가 점점 증가할 때 회로 B에 유도되는 전류의 방향을 구하여라. 이때 두 회로 A와 B 사이에 작용하는 자기력의 방향은 어떻게 되나?



시계방향 밀어낸다

10. 인덕턴스가 $5.00\ \mathrm{mH}$인 인덕터에 $I = I_m \sin(\omega t)$로 주어지는 전류가 흐른다. $I_m = 0.200\ \mathrm{A}$이고 교류전원의 진동수가 $60.0\ \mathrm{Hz}$일 때, $t = 10.0\ \mathrm{ms}$에서 유도 기전력의 크기는 얼마인가?

$$\omega = 2\pi f = 2\pi \times 60.0\ \mathrm{Hz} = 120\pi\ \mathrm{Hz} = 120\pi\ \mathrm{rad/s}$$

$$\begin{aligned}
\epsilon &= \left| L\frac{di}{dt} \right| = \left| L\frac{d}{dt}\{I_m \sin(\omega t)\} \right| = \left| LI_m \frac{d}{dt}\{\sin(\omega t)\} \right| = \left| LI_m \omega \ \cos(\omega t)\} \right| \\
&= \left| LI_m 2\pi f \ \cos(2\pi f t)\} \right| \\
&= \left| (5.00\times 10^{-3}\ \mathrm{H}) \times (0.200\ \mathrm{A}) \times (2\pi \times 60.0\ \mathrm{Hz}) \times \cos(2\pi \times 60.0\ \mathrm{Hz} \times 0.01\ \mathrm{s}) \right| \\
&\approx 0.376\ \mathrm{V}
\end{aligned}$$

11. 어떤 솔레노이드의 저항은 $5.00\ \Omega$이고 인덕턴스는 $0.200\ \mathrm{H}$이다. 이 솔레노이드의 양단에 기전력이 $1.50\ \mathrm{V}$인 전지를 연결하였다. 이때 다음 물음에 답하여라.

(가) 평형 상태에 이르렀을 때의 전류는 얼마인가?

$$i(t)=\frac{\epsilon}{R}\left(1-e^{-\frac{R}{L}t}\right)$$

$$i(t\to\infty)=\frac{\epsilon}{R}(1-0)=\frac{\epsilon}{R}=\frac{1.50\ \mathrm{V}}{5.00\ \Omega}=0.300\ \mathrm{A}=300\ \mathrm{mA}=I_m$$

(나) 평형 상태의 전류의 반에 해당하는 전류가 흐르게 되는 시간을 구하여라.

$$i(t)=\frac{\epsilon}{R}\left(1-e^{-\frac{R}{L}t}\right)=\frac{1}{2}\frac{\epsilon}{R}\quad\Rightarrow\quad 1-e^{-\frac{R}{L}t}=\frac{1}{2}\quad\Rightarrow\quad e^{-\frac{R}{L}t}=\frac{1}{2}$$

$$\Rightarrow\quad \ln\ e^{-\frac{R}{L}t}=\ln\frac{1}{2}\quad\Rightarrow\quad \frac{R}{L}t=\ln 2$$

$$\Rightarrow\quad t=\frac{L}{R}\times\ln 2\approx\frac{0.200\ \mathrm{H}}{5.00\ \Omega}\times 0.693\approx 0.0277\ \mathrm{s}=27.7\ \mathrm{ms}$$

(다) 평형 상태에 도달한 후에 자기장에 저장된 에너지는 얼마인가?

$$U_{B_m}=\int_0^{U_{B_m}}dU_B=\int_0^{I_m}Li\,di=\frac{1}{2}LI_m^2=\frac{1}{2}\times(0.200\ \mathrm{H})\times(0.300\ \mathrm{A})^2=0.009\ \mathrm{J}=9\ \mathrm{mJ}$$

(라) 자기장에 저장된 에너지가 평형 상태 에너지의 반에 도달하게 되는 시간을 구하여라.

$$U_B=\int_0^{U_B}dU_B=\int_0^{I}Li\,di=\frac{1}{2}LI^2=\frac{1}{2}U_{B_m}$$

$$\Rightarrow\quad I=\sqrt{\frac{U_{B_m}}{L}}=\sqrt{\frac{0.009\ \mathrm{J}}{0.200\ \mathrm{H}}}$$

$$i(t)=\frac{\epsilon}{R}\left(1-e^{-\frac{R}{L}t}\right)=I\quad\Rightarrow\quad 1-e^{-\frac{R}{L}t}=\frac{R}{\epsilon}I\quad\Rightarrow\quad e^{-\frac{R}{L}t}=1-\frac{R}{\epsilon}I$$

$$\Rightarrow\quad \ln\left(e^{-\frac{R}{L}t}\right)=\ln\left(1-\frac{R}{\epsilon}I\right)\quad\Rightarrow\quad -\frac{R}{L}t=\ln\left(1-\frac{R}{\epsilon}I\right)$$

$$\Rightarrow\quad t=-\frac{L}{R}\ln\left(1-\frac{R}{\epsilon}I\right)=-\frac{0.200\ \mathrm{H}}{5.00\ \Omega}\times\ln\left(1-\frac{5.00\ \Omega}{1.50\ \mathrm{V}}\times\sqrt{\frac{0.009\ \mathrm{J}}{0.200\ \mathrm{H}}}\right)$$

$$\approx 0.0491\ \mathrm{s}=49.1\ \mathrm{ms}$$

대학물리학 (제8판) 연습문제 풀이 (21장) - by 송현석

12. 원형으로 감겨져 있는 도선이 있다. 감긴 수는 10회이고 반경은 $3.00\ \mathrm{cm}$이다. $0.500\ \mathrm{T}$로 균일한 자기장 내에서 원형 도선이 초당 60회 회전한다. 도선에 유도되는 순간 최대 기전력은 얼마인가? 또 이때 원형 도선이 자기장 내에서 놓여 있는 방향은?

$$N = 10, \qquad B = 0.500\ \mathrm{T}, \qquad A = \pi r^2 = \pi \times (0.0300\ \mathrm{m})^2$$

$$\omega = \frac{60 \times 2\pi\ \mathrm{rad}}{1\ \mathrm{s}} = 120\pi\ \mathrm{rad/s}$$

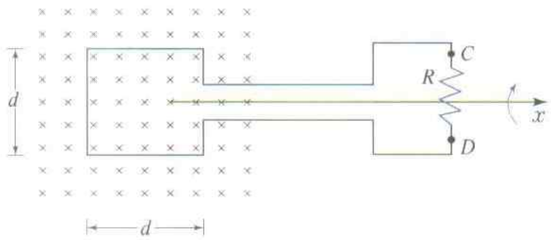
$$\epsilon = -\frac{d\Phi_B}{dt} = -N\frac{d}{dt}(\vec{B}\cdot\vec{A}) = -N\frac{d}{dt}(BA\cos\theta) = -N\frac{d}{dt}(BA\cos\omega t)$$

$$= -NBA\frac{d}{dt}(\cos\omega t) = +NBA\omega\sin\omega t = +\epsilon_{max}\sin\omega t = +\epsilon_{max}\sin\theta$$

$$\Rightarrow \quad \epsilon_{max} = NBA\omega = (10)\times(0.500\ \mathrm{T})\times\pi\times(0.0300\ \mathrm{m})^2\times 120\pi\ \mathrm{rad/s} \approx 5.33\ \mathrm{V}$$

< $\sin\theta = 1$ 일때 B와 A의 사잇각이 90° 일때 >

13. 균일한 자기장 내에 면적이 $S = d^2$인 사각형 도선에 연결된 그림과 같은 폐회로의 전체 저항이 R이다. 자기장의 방향은 지면을 향하고 크기는 B이다. 이 도선을 x축에 대해서 시계 방향으로 90° 회전시켜서 t초 만에 도선의 면과 자기장이 이루는 각이 0°가 되도록 한다.



(가) t초 동안 저항을 통하여 흐르는 전류의 방향은?

$$\Phi_{B\,i} = \vec{B}\cdot\vec{A} = BA\cos\theta = BA\cos 0^\circ = BA$$

$$\Phi_{B\,f} = \vec{B}\cdot\vec{A} = BA\cos\theta = BA\cos 90^\circ = 0$$

$\Rightarrow \quad \Delta\Phi_B = \Phi_{B\,f} - \Phi_{B\,i} = 0 - BA = -BA \quad \Rightarrow \quad \Phi_B$ 가 감소

$\Rightarrow \quad \Phi_B$ 의 감소를 보상하기위해 ϵ 발생 $\quad \Rightarrow \quad I$ 발생 < 시계방향 >

(나) 이 회로에 t초 동안에 유도되는 평균 기전력을 구하고, 회로에 흐르는 평균 전류의 크기를 구하여라.

$$\bar{\epsilon} = -\frac{\Delta\Phi_B}{\Delta t} = -\frac{(-BA)}{\Delta t} = \frac{BA}{t} = \frac{Bd^2}{t} \quad \Rightarrow \quad \bar{I} = \frac{\bar{\epsilon}}{R} = \frac{BA}{tR} = \frac{Bd^2}{tR}$$

대학물리학 (제8판) 연습문제 풀이 (21장) - by 송현석

14. 수력발전소의 발전기가 $14000\ \mathrm{V}$ 에 $12.0\ \mathrm{A}$ 의 전기를 발전한다. 이 전기를 송전하기 위해 전압을 $140000\ \mathrm{V}$ 로 승압하려고 한다.

(가) 이렇게 승압했을 때의 전류를 구하여라.

$$\text{< 전력은 일정 >}\quad \begin{cases} P = IV \\ P' = I'V' \end{cases} \Rightarrow \quad I' = \frac{V}{V'} I = \frac{14000\ \mathrm{V}}{140000\ \mathrm{V}} \times 12.0\ \mathrm{A} = 1.20\ \mathrm{A}$$

(나) 송전선의 전체 저항이 $170\ \Omega$ 이라고 할 때 송전선에서 열이 발생하는 비율을 구하라.

$$\begin{cases} P'_R = I'^2 R = (1.20\ \mathrm{A})^2 \times (170\ \Omega) = 244.8\ \mathrm{W} \\ P' = I'V' = (1.20\ \mathrm{A}) \times (140000\ \mathrm{V}) = 168000\ \mathrm{W} \end{cases} \Rightarrow \quad \frac{P'_R}{P'} = \frac{244.8\ \mathrm{W}}{168000\ \mathrm{W}}$$

$$\approx 0.001457 = 0.1457\%$$

$$\Delta V' = I'R = (1.20\ \mathrm{A}) \times (170\ \Omega) = 204.0\ \mathrm{V}$$

$\Rightarrow$ < 송전 후 전압이 $\Delta V'$ 만큼 강하된다 >
$\Rightarrow$ < 전력의 손실이 발생한다 >
$\Rightarrow$ < 줄 열 발생으로 인한 전기에너지 손실 >

$$P_{R'} = I' \Delta V' = (1.20\ \mathrm{A}) \times (204.0\ \mathrm{V}) = 244.8\ \mathrm{W}$$

(다) 만일 승압하지 않고 송전한다고 할 때 동일한 송전선에서 열이 발생하는 비율을 구하여라.

$$\begin{cases} P_R = I^2 R = (12.0\ \mathrm{A})^2 \times (170\ \Omega) = 24480\ \mathrm{W} \\ P = IV = (12.0\ \mathrm{A}) \times (14000\ \mathrm{V}) = 168000\ \mathrm{W} \end{cases} \Rightarrow \quad \frac{P_R}{P} = \frac{24480\ \mathrm{W}}{168000\ \mathrm{W}}$$

$$\approx 0.1457 = 14.57\%$$

$$\Delta V = IR = (12.0\ \mathrm{A}) \times (170\ \Omega) = 2040\ \mathrm{V}$$

$\Rightarrow$ < 송전 후 전압이 ΔV 만큼 강하된다 >
$\Rightarrow$ < 전력의 손실이 발생한다 >
$\Rightarrow$ < 줄 열 발생으로 인한 전기에너지 손실 >

$$P_R = I \Delta V = (12.0\ \mathrm{A}) \times (2040\ \mathrm{V}) = 24480\ \mathrm{W}$$

대학물리학 (제8판) 연습문제 풀이 (21장) - by 송현석

15. $1.00\ \mathrm{km}$**당 저항이** $0.500\ \Omega$**인 길이** $100\ \mathrm{km}$**의 송전선을 사용하여** $10{,}000\ \mathrm{kW}$**의 전력을 수송하려고 한다.**

(가) 송전선의 발열 손실을 5% **이하로 하려면 송전 전압을 몇** V **이상으로 해야 하는가?**

$$\frac{R}{L} = 0.500\ \Omega/\mathrm{km} \quad \Rightarrow \quad R = L \times 0.500\ \Omega/\mathrm{km} \times 100\ \mathrm{km} = 50.0\ \Omega$$

$$P = 10000\ \mathrm{kW} = 10^4 \times 10^3\ \mathrm{W} = 10^7\ \mathrm{W}$$

$$P_{손실} = I^2 R < 0.05 \times 10^7\ \mathrm{W} = 5 \times 10^5\ \mathrm{W}$$

$$I < \sqrt{\frac{P_{손실}}{R}} = \sqrt{\frac{5 \times 10^5\ \mathrm{W}}{50.0\ \Omega}} = \sqrt{10^4\ \mathrm{W}/\Omega} = 10^2\ \mathrm{A}$$

$$P = IV \quad \Rightarrow \quad V = \frac{P}{I} = \frac{10^7\ \mathrm{W}}{10^2\ \mathrm{A}} = 10^5\ \mathrm{V} = 100{,}000\ \mathrm{V}$$

(나) 이때 목적지에서 전압을 $5{,}000\ \mathrm{V}$**로 낮추려면 변압기의 2차 코일의 감은 횟수는 1차 코일의 감은 횟수의 몇 배가 되어야 하는가?**

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2} \quad \Rightarrow \quad \frac{100{,}000\ \mathrm{V}}{5{,}000\ \mathrm{V}} = 20 = \frac{N_1}{N_2} \quad \Rightarrow \quad N_2 = \frac{1}{20} N_1$$

16. 반지름이 R**인 원통형 공간에 자기장이 축에 나란한 방향으로 균일하게 분포되어 있다. 자기장이 시간에 따라 일정하게 증가할 때, 중심이 축에 있고 반지름이** r**인 원형 고리에 유도된 전기장의 세기는** r**의 몇 제곱에 비례하는가?**

$$\epsilon = \oint_l \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\frac{d\Phi_B}{dt} = -\frac{d}{dt}(BA) = -A\frac{dB}{dt} \qquad where \quad < \frac{dB}{dt} = 일정,\ 상수 >$$

$$\text{for} \quad r < R, \quad E\ 2\pi r = -\pi r^2 \frac{dB}{dt} \quad \Rightarrow \quad E = -\frac{\pi r^2}{2\pi r}\frac{dB}{dt} = -\frac{r}{2}\frac{dB}{dt} \quad \Rightarrow \quad E \propto r$$

$$\text{for} \quad r > R, \quad E\ 2\pi r = -\pi R^2 \frac{dB}{dt} \quad \Rightarrow \quad E = -\frac{\pi R^2}{2\pi r}\frac{dB}{dt} = -\frac{R^2}{2r}\frac{dB}{dt} \quad \Rightarrow \quad E \propto \frac{1}{r}$$

대학물리학 (제8판) 연습문제 풀이 (21장) - by 송현석

17. 한 라디오 방송국에서 방출하는 전자기파의 주파수가 $90.0\,\mathrm{MHz}$ 이다. 이 전자기파의 파장은 얼마인가?

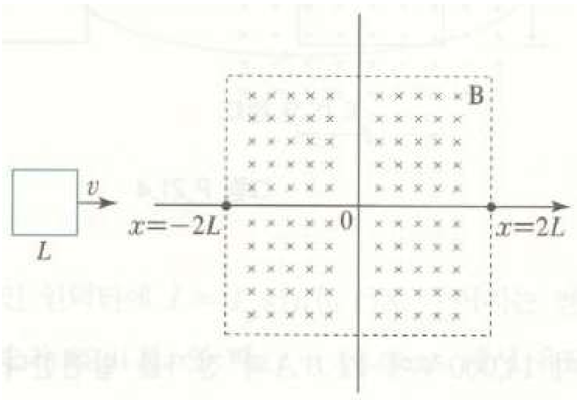
$$c = \lambda f \qquad \Rightarrow \qquad \lambda = \frac{c}{f} = \frac{3.00 \times 10^{8}\ \mathrm{m/s}}{90.0 \times 10^{6}\ /\mathrm{s}} = \frac{10}{3}\ \mathrm{m}$$

18. 자기장 B가 있는 곳에 탐지 코일을 빠르게 가져 왔다. 이 탐지 코일은 솔레노이드 형태로 면적이 A이고 감은 수는 N이다. 이 코일의 저항은 R이며 코일을 통과하는 자기선속은 시간 Δt 동안 0에서 최대로 증가한다. 이 코일에 유도되는 평균전류를 I 라고 할 때, 전류에 의해 이동한 총 전하량 Q와 자기장 B의 관계를 구하라.

$$\begin{cases} \epsilon = \left| -N\dfrac{\Delta \Phi_B}{\Delta t} \right| = \left| -NA\dfrac{\Delta B}{\Delta t} \right| = \left| -NA\dfrac{(B-0)}{\Delta t} \right| = \left| -\dfrac{NAB}{\Delta t} \right| = \dfrac{NAB}{\Delta t} \\ \epsilon = IR = \dfrac{\Delta Q}{\Delta t}R = \dfrac{Q-0}{\Delta t}R = \dfrac{Q}{\Delta t}R \end{cases}$$

$$\Rightarrow \qquad \frac{NAB}{\Delta t} = \frac{Q}{\Delta t}R \qquad \Rightarrow \qquad Q = \frac{NAB}{R}$$

19. 저항이 R인 도선으로 만든 정사각형 회로가 일정한 속력 v로 그림에 보인 균일한 자기장을 가로질러 움직이고 있다.



(가) 이 회로를 일정한 속력으로 움직이게 하기 위한 힘을 좌표 x의 함수로 $x=-2L$에서 $x=+2L$까지 그래프로 그려라.

◎ 진입시

$$\Phi_B = BA = BLx, \qquad \epsilon = -\frac{d\Phi_B}{dt} = -\frac{d}{dt}(BLx) = -BL\frac{dx}{dt} = -BLv$$

$$I = \frac{\epsilon}{R} = -\frac{BLv}{R} \qquad < \text{시계 반대방향} = \text{회로 우변의 윗방향} >$$

$$F_B = ILB = \left(-\frac{BLv}{R}\right)LB = -\frac{B^2L^2v}{R} \qquad < \text{좌측방향} >$$

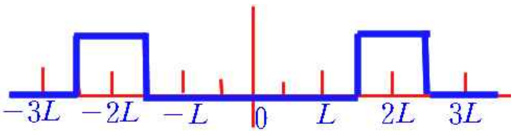
◎ 진출시

$$\Phi_B = BA = BLx, \qquad \epsilon = -\frac{d\Phi_B}{dt} = -\frac{d}{dt}(BLx) = -BL\frac{dx}{dt} = +BLv$$

$$I = \frac{\epsilon}{R} = +\frac{BLv}{R} \qquad < \text{시계 방향} = \text{회로 좌변의 윗방향} >$$

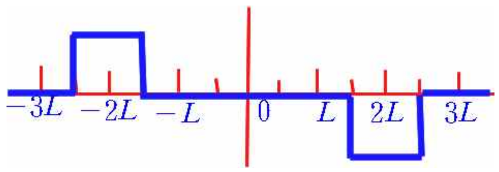
$$F_B = ILB = \frac{BLv}{R}LB = \frac{B^2L^2v}{R} \qquad < \text{좌측방향} >$$

회로가 받는 힘을 상쇄하기 위해 발생하는 자기력의 반대 방향으로 힘을 가해야 한다.



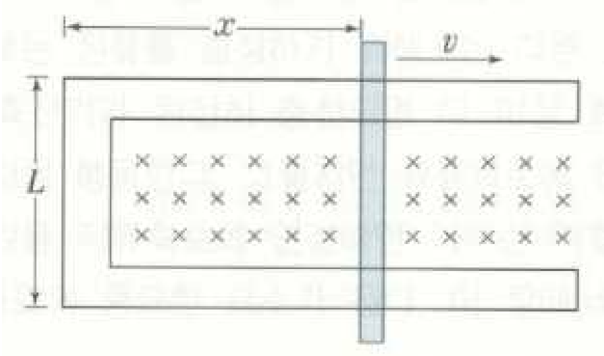
< 우측방향 >　　　　< 우측방향 >

(나) 이 회로에 유도된 전류를 x의 함수로 그래프로 그려라.



< 시계 반대방향 >　　　< 시계 방향 >

20. 저항이 R인 막대가 자기장이 B로 균일한 영역에 마찰이 없는 도체 레일 위를 가로질러 놓여 있다. 이때 다음 질문에 답하여라.



(가) 이 막대가 일정한 속력 v로 움직이기 위해서 가해져야 할 힘의 크기를 B, R, v, x, L로 나타내어라.

$$\Phi_B = BLx$$

$$\epsilon = -\frac{d\Phi_B}{dt} = -\frac{d}{dt}(BLx) = -BL\frac{dx}{dt} = -BLv$$

$$I = \frac{\epsilon}{R} = -\frac{BLv}{R} \qquad < \text{시계 반대방향} >$$

$$F_B = ILB = \left(-\frac{BLv}{R}\right)LB = -\frac{B^2L^2v}{R} \qquad < \text{좌측방향} >$$

$$F = \frac{B^2L^2v}{R} \qquad < \text{우측방향} >$$

발생되는 기전력에의해 좌측 방향으로 힘을 받게되므로,
일정한 속력 v 로 계속 움직이기 위해서는 우측으로 힘을 가해야 한다.

(나) 이 힘에 의한 일률을 구하여라.

$$P = \vec{F}\cdot\vec{v} = Fv\cos 0^\circ = \left(\frac{B^2L^2v}{R}\right)v = \frac{B^2L^2v^2}{R}$$

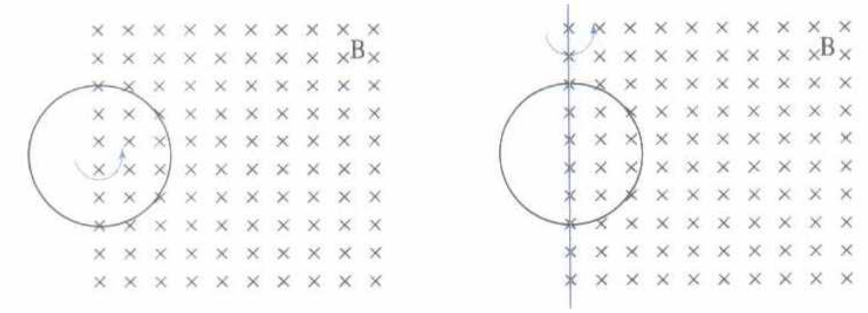
(다) 막대에서 소비되는 전력을 구하여라.

$$P = i^2R = \left(-\frac{BLv}{R}\right)^2 R = \frac{B^2L^2v^2}{R}$$

$$P = I\,\epsilon = \left(-\frac{BLv}{R}\right)(-BLv) = \frac{B^2L^2v^2}{R}$$

대학물리학 (제8판) 연습문제 풀이 (21장) - by 송현석

21. 그림과 같이 일부 영역에 자기장이 존재한다. 자기장 영역의 가장자리 한 점을 중심으로 원형 도선이 있다. 이제 이 도선을 (ㄱ) 도선의 중심을 지나고 지면에 수직인 축을 중심으로, (ㄴ) 도선의 중심을 지나고 지면에 놓여 있는 가장자리와 나란한 축을 중심으로 일정한 각속력 ω로 회전시키는 경우를 생각하자.



(가) (ㄱ)의 경우, 일정한 자기장 속에서 유도되는 최대 전류값은 ω가 증가함에 따라 어떠한가?

$$\epsilon = -\frac{d\Phi_B}{dt} = -\frac{d}{dt}(BA) = 0 \qquad < B \text{ 일정, } A \text{ 일정} >$$

$$I_{peak} = \frac{\epsilon_{peak}}{R} = 0 \qquad < \text{유도전류 없음, } \omega \text{ 와 무관} >$$

(나) (ㄴ)의 경우, 일정한 자기장 속에서 유도되는 최대 전류값은 ω가 증가함에 따라 어떠한가?

$$\epsilon = -\frac{d\Phi_B}{dt} = -\frac{d}{dt}(BA\cos\theta) = -BA\frac{d}{dt}(\cos\theta) = -BA\frac{d}{dt}(\cos\omega t) = +\omega BA\sin\omega t$$

$$= +\epsilon_{peak}\sin\omega t$$

$$I_{peak} = \frac{\epsilon_{peak}}{R} = \frac{\omega BA}{R} \qquad < I \sim \omega, \ \omega \text{ 에 비례하여 증가} >$$

(다) (ㄱ)의 경우, 일정한 비율로 증가하는 자기장 속에서 유도되는 최대 전류값은 ω가 증가함에 따라 어떠한가?

$$\epsilon = -\frac{d\Phi_B}{dt} = -\frac{d}{dt}(BA) = -A\frac{dB}{dt} \qquad \left\langle \frac{dB}{dt}\text{: 일정, } A\text{ : 일정} \right\rangle$$

$$I_{peak} = \frac{\epsilon_{peak}}{R} = -\frac{A}{R}\frac{dB}{dt} \qquad \left\langle \frac{dB}{dt} \text{ 일정, 유도전류 일정, } \omega \text{ 와 무관} \right\rangle$$

대학물리학 (제8판) 연습문제 풀이 (21장) - by 송현석

22. 면적이 A이고 저항이 R인 직사각형 도선이 있다. 이 직사각형의 한 변에 평행하며 직사각형의 중심을 통과하는 회전축인 y축에 대해 도선이 일정한 각속도 ω로 회전하고 있다. 균일한 자기장이 x축 방향으로 넓게 분포하고 있을 때,

(가) 도선을 통과하는 선속의 변화를 식으로 나타내라.

$$\epsilon = -\frac{d\Phi_B}{dt} = -\frac{d}{dt}(BA\cos\theta) = -BA\frac{d}{dt}(\cos\theta) = -BA\frac{d}{dt}(\cos\omega t) = \omega BA\sin\omega t$$

(나) 도선에 발생하는 유도전류와 이에 의한 자기 모멘트를 구하라.

$$I = \frac{\epsilon}{R} = \frac{\omega BA}{R}\sin\omega t$$

$$\mu = AI = A\frac{\epsilon}{R} = A\frac{\omega BA}{R}\sin\omega t = \frac{\omega BA^2}{R}\sin\omega t$$

(다) 일정한 각속도로 도선을 회전시키는데 필요한 외부 돌림힘을 구하라.

$$\tau = \mu B\sin\theta = \mu B\sin\omega t = \frac{\omega BA^2}{R}B\sin\omega t = \frac{\omega B^2A^2}{R}\sin\omega t$$

(라) 평균 일률을 구하고 저항에서 소모되는 전기에너지의 평균값과 비교하라.

$$\overline{P} = \left\langle \frac{dW}{dt} \right\rangle = \left\langle \frac{dU}{dt} \right\rangle = \left\langle \frac{\mu B\sin\theta\, d\theta}{dt} \right\rangle = \left\langle \mu B\sin\theta\frac{d\theta}{dt} \right\rangle = \langle \omega\mu B\sin\omega t \rangle$$

$$= \left\langle \omega\left(\frac{\omega BA^2}{R}\sin\omega t\right)B\sin\omega t \right\rangle = \frac{\omega^2B^2A^2}{R} < \sin^2\omega t > = \frac{\omega^2B^2A^2}{2R}$$

$$\overline{P} = \langle I\epsilon \rangle = \left\langle \left(\frac{\omega BA}{R}\sin\omega t\right)(\omega BA\sin\omega t) \right\rangle = \frac{\omega^2B^2A^2}{R}\langle \sin^2\omega t \rangle = \frac{\omega^2B^2A^2}{2R}$$

23. 도선이 원형으로 감겨 있다. 감긴 수는 10회이고 반지름은 $3.0\ \mathrm{cm}$이다. 자기장이 $0.50\ \mathrm{T}$로 균일하게 분포되어 있는 영역에서 도선이 초당 60회 회전한다. 도선에 유도되는 최대 기전력은 얼마인가?

$$\begin{aligned}
\epsilon = -\frac{d\Phi_B}{dt} &= -\frac{d}{dt}[BNAcos(2\pi ft)] \\
&= -BNA\frac{d}{dt}[\cos(2\pi ft)] \\
&= +BNA(2\pi f)\sin(2\pi ft) \\
&= +(0.5\ \mathrm{T})\times(10)\times\pi\times(0.03\ \mathrm{m})^2\times 2\pi\times(60\ /\mathrm{s})\times\sin(2\pi ft) \\
&= +(5.33\ \mathrm{V})\sin(2\pi ft)
\end{aligned}$$

$$\Rightarrow \qquad \epsilon_{\max} = 5.33\ \mathrm{V}$$