

Домашняя работа по физике за 11 класс

**к учебнику «Физика. 11 класс» Г.Я Мякишев,
Б.Б. Буховцев, М.: «Просвещение», 2000 г.**

учебно-практическое
пособие

СОДЕРЖАНИЕ

Глава 1. Электромагнитная индукция	
<i>Упражнение 1</i>	4
Глава 2. Электромагнитные колебания	
<i>Упражнение 2</i>	14
Глава 3. Производство, передача и использование электрической энергии	
<i>Упражнение 3</i>	22
Глава 4. Электромагнитные волны	
<i>Упражнение 4</i>	29
Глава 5. Световые волны	
<i>Упражнение 5</i>	33
<i>Упражнение 6</i>	55
Глава 6. Элементы теории относительности	
<i>Упражнение 7</i>	59
Глава 8. Световые кванты	
<i>Упражнение 8</i>	62
Глава 9. Атомная физика	
<i>Упражнение 9</i>	68
Глава 10. Физика атомного ядра	
<i>Упражнение 10</i>	74
Лабораторные работы	
<i>Лабораторная работа № 1.</i>	82
<i>Лабораторная работа № 2.</i>	85
<i>Лабораторная работа № 3.</i>	88
<i>Лабораторная работа № 4.</i>	90
<i>Лабораторная работа № 5.</i>	92
<i>Лабораторная работа № 6.</i>	93

Глава 1. Электромагнитная индукция

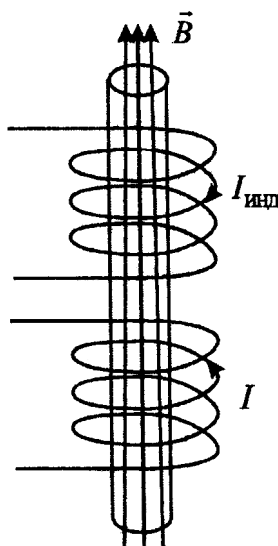
Упражнение 1

Задание № 1

Ключ (в схеме на рис.1) только что замкнули. Ток в нижней катушке направлен против часовой стрелки, если смотреть сверху. Каково направление тока в верхней катушке при условии, что она неподвижна?

Ответ:

Когда мы замкнули ключ, по нижней катушке пошел ток, направленный против часовой стрелки. По правилу буравчика мы можем определить, что вектор магнитной индукции этого тока направлен вверх. Поэтому индуктивный ток верхней катушки противодействует своим полем этому изменению (правило Ленца). Следовательно, линии магнитной индукции верхней катушки B' направлены вниз, а ток по правилу буравчика направлен по часовой стрелке.

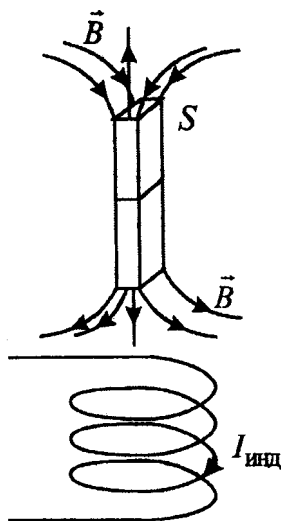


Задание № 2

Магнит (рис.2, б) выдвигают из катушки. Определите направление индукционного тока в катушке.

Ответ:

Выдвигая магнит из катушки (например, северным полюсом), мы, таким образом, уменьшаем магнитный поток через какой-либо виток катушки. Магнитное поле индукционного тока катушки компенсирует это изменение (правило Ленца). Следовательно, индукционный ток потечет по часовой стрелке (Вектор магнитной индукции катушки $\vec{B}'$ направлен вниз). В обратном случае (магнит вытягиваем полюсом S) мы наблюдаем обратное.

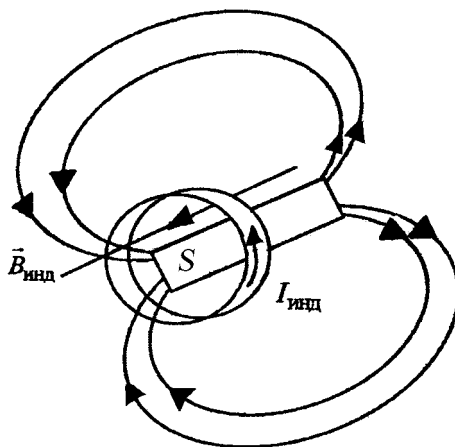


Задание № 3

Определите направление индукционного тока в сплошном кольце, к которому подносят магнит (рис.5).

Ответ:

Поднося к кольцу магнит, мы тем самым повышаем магнитный поток через поверхность кольца. Если магнит подносить полюсом S , то линии магнитной индукции идут

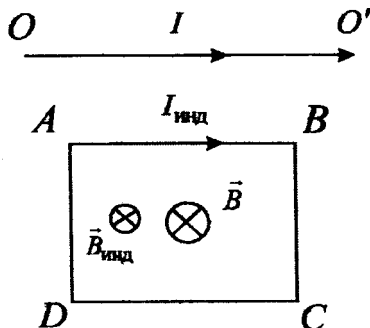


от кольца. В кольцо появляется индукционный ток. Вектор магнитной индукции поля кольца направлен от магнита по правилу Ленца. Следовательно, ток течет против часовой стрелки. Если магнит подносить противоположным способом, то произойдет обратное.

Задание № 4

Сила тока в проводнике OO' (рис.20) убывает. Найдите направление индукционного тока в неподвижном контуре $ABCD$ и направления сил, действующих на каждую из сторон контура.

Ответ:



Применяя правило буравчика, находим, что вектор магнитной индукции $\vec{B}$ направлен от нас перпендикулярно плоскости рисунка. Когда мы уменьшаем ток, мы тем самым уменьшаем $|\vec{B}|$. Следовательно, поток через контур тоже

уменьшается. Вектор индукции $\vec{B}_{\text{инд}}$ поля индукционного тока по правилу Ленца направлен так же как и $\vec{B}$. По правилу буравчика находим, что ток в контуре идет по часовой стрелке. Применив правило левой руки, можно выяснить, что силы действующие на проводники тока, во-первых, растягивают

рамку, стремясь увеличить ее площадь, а, во-вторых, их результирующая направлена к прямолинейному проводнику.

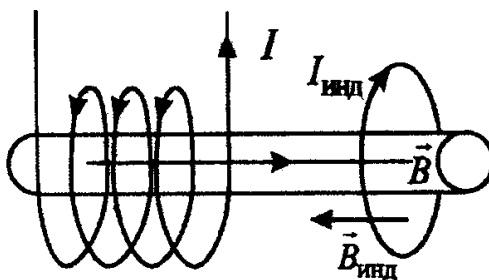
Задание № 5

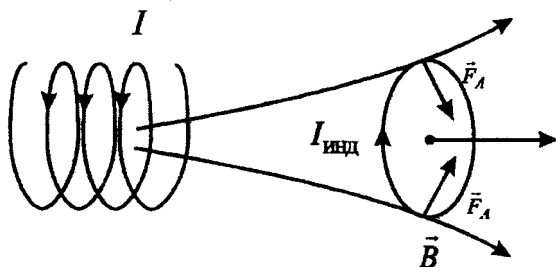
Металлическое кольцо может свободно двигаться по сердечнику катушки, включенной в цепь постоянного тока (рис.21). Что будет происходить в моменты замыкания и размыкания цепи?

Ответ:

Случай замыкания и размыкания цепи эквивалентен поднесению и удалению к кольцу магнита. В первом случае при

замыкании цепи возникает ток (в катушке), направленный против часовой стрелки. Вектор магнитной индукции данного поля тока направлен влево (правило буравчика). По правилу Ленца индукционный ток противодействует своим полем данному изменению. Следовательно, вектор магнитной индукции $\vec{B}_{\text{инд}}$ индукционного тока направлен вправо. Поэтому кольцо и катушка подобны двум магнитам, расположенным одинаковыми полюсами друг к другу. Они отталкиваются.



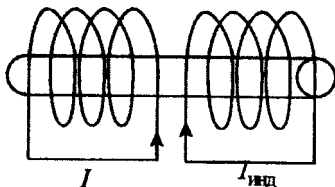


При размыкании магнитное поле, направленное вправо, исчезает, и индукционный ток препятствует этому. Векторы магнитной индукции его поля также направлены вправо. Следовательно, кольцо притягивается к катушке.

Задание № 6

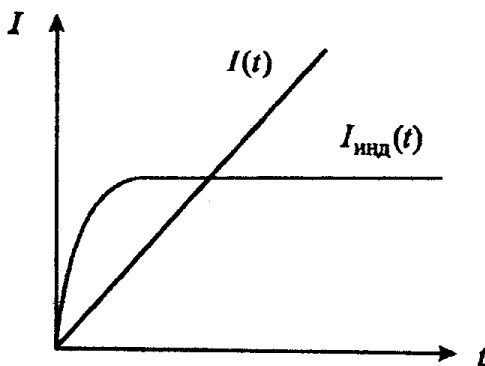
Сила тока в катушке нарастает прямо пропорционально времени. Каков характер зависимости силы тока от времени в другой катушке, индуктивно связанной с первой?

Ответ:



При прямо пропорциональном возрастании силы тока в катушке, модуль вектора B поля катушки также прямо пропорционально возрастает по времени ($B \sim t$). Так как $\Phi = BS \cos \alpha$, то магнитный поток также растет пропорционально времени ($\Phi \sim t$).

Это дает нам то, что



$\mathcal{E}_i = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = \text{const}$ постоянна во времени и $I_{\text{инд}}$
 $= \frac{\mathcal{E}_i(t)}{R} = \text{const}$ также постоянен. По правилу Ленца он
 направлен противоположно I . Но это постоянное значение тока
 установится не сразу. Причиной этому является явление
 самоиндукции.

Задание № 7

В каком случае колебания стрелки магнитоэлектрического прибора затухают быстрее: когда клеммы прибора замкнуты накоротко или когда разомкнуты?

Ответ:

При замкнутых клеммах колебания стрелки затухают быстрее, чем при разомкнутых. Это объясняется тем, что действие любого магнитоэлектрического прибора основано на взаимодействии подвижного контура тока с магнитным полем постоянного магнита. Ток, протекающий по рамке, создает силы

Ампера, которые в свою очередь создают вращательный момент. При разомкнутых клеммах ток по рамке прибора не течет. Следовательно, рамка совершает колебания, затухающие за счет трения. А когда клеммы замкнут, то колебания затухают не только за счет трения, но и за счет диссипативных процессов, возникающих при протекании в ней индукционного тока.

Задание № 8

Магнитный поток через контур проводника сопротивлением $3 \cdot 10^{-2}$ Ом за 2 с изменился на $1,2 \cdot 10^{-2}$ Вб. Найдите силу тока в проводнике, если изменение потока происходило равномерно.

Ответ:

Дано:

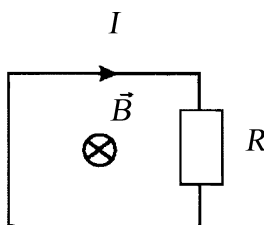
$$R = 3 \cdot 10^{-2} \text{ Ом}$$

$$\Delta t = 2 \text{ с}$$

$$|\Delta \Phi| = 1,2 \cdot 10^{-2} \text{ Вб}$$

$$I = ?$$

Решение:



Согласно закону электромагнитной индукции ЭДС индукции $\mathcal{E}_i$ в замкнутом контуре равна:

$$\mathcal{E}_i = \frac{|\Delta \Phi|}{\Delta t} = \frac{|\Delta \Phi|}{\Delta t}.$$

Ток I в контуре, в соответствии с законом Ома, равен:

$$I = \frac{\mathcal{E}_i}{R} = \frac{|\Delta \Phi|}{R \cdot \Delta t}, \quad I = \frac{1,2 \cdot 10^{-2}}{3 \cdot 10^{-2} \cdot 2} \text{ А} = 0,2 \text{ А}$$

$$[I] = \left[\frac{\text{Вб}}{\text{Ом} \cdot \text{с}} \right] = \left[\frac{\text{Кл} \cdot \text{Ом}}{\text{Ом} \cdot \text{с}} \right] = \left[\frac{\text{Ом}}{\text{с}} \right] = [\text{А}]$$

Задание № 9

Самолет летит горизонтально со скоростью 900 км/ч. найдите разность потенциалов, возникающую между концами его крыльев, если модуль вертикальной составляющей магнитной индукции земного магнитного поля $5 \cdot 10^{-2}$ Тл, а размах крыльев 12 м.

Ответ:

Дано:

$$v = 900 \text{ км/ч} = 250 \text{ м/с} =$$

$$= 2,5 \cdot 10^2 \text{ м/с}$$

$$B_{\perp} = 5 \cdot 10^{-2} \text{ Тл}$$

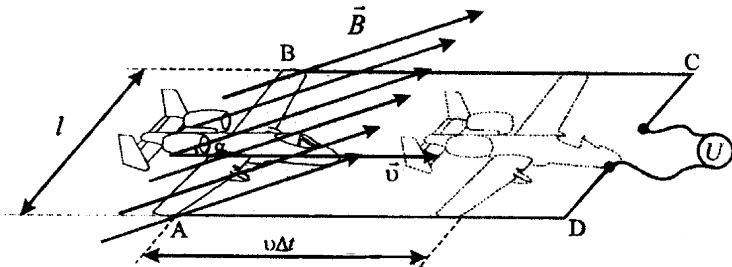
$$l = 12 \text{ м}$$

$$\mathcal{E}_i - ?$$

Решение:

вычислим ЭДС индукции $\mathcal{E}_i$, возникающую в проводнике (самолете), движущемся в однородном магнитном поле.

Пусть вектор магнитной индукции $\vec{B}$ перпендикулярен крыльям самолета и составляет некоторый угол α с направлением его скорости $\vec{v}$. (Если у индукции магнитного поля $\vec{B}$ есть составляющая, параллельная крыльям, то ее можно не учитывать при решении задачи, так как эта составляющая вызывает силу Лоренца, направленную перпендикулярно крыльям).



Сила Лоренца, с которой магнитное поле действует на движущуюся заряженную частицу (с зарядом q) равна по модулю:

$$F_{\text{л}} = |q| \cdot v \cdot B \cdot \sin \alpha = q \cdot v \cdot B_{\perp}.$$

Работа силы Лоренца A на пути l от конца одного крыла до конца другого равна $A = F_{\text{л}} \cdot l = |q| \cdot v \cdot B_{\perp} \cdot l$.

По определению ЭДС:

$$\mathcal{E}_i = \frac{A}{|q|} = v B_{\perp} l.$$

Следовательно, разность потенциалов, возникающая между концами крыльев самолета при его движении в однородном магнитном поле, равна:

$$\mathcal{E}_i = v B_{\perp} l = 2,5 \cdot 10^2 \cdot 5 \cdot 10^{-5} \cdot 12 \text{ В} = 1,5 \cdot 10^{-1} \text{ В}.$$

$$\mathcal{E}_i = \left[Tл \cdot \frac{M}{c} \cdot m \right] = \left[\frac{Bб}{c} \right] = \left[\frac{Kл \cdot Ом}{c} \right] = [A \cdot Ом] = [B].$$

Замечание: тот же результат можно получить из закона электромагнитной индукции, рассмотрев контур ABCD переменной площади в магнитном поле (см. рисунок). В этом случае $\Phi = B_{\perp} S$, где S – площадь контура, зависящая от времени по закону:

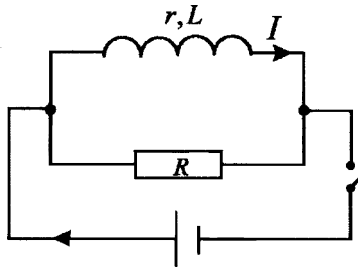
$\Delta S = -lv\Delta t$, тогда $\Delta \Phi = -B_{\perp} l \Delta t$. Следовательно, согласно закону электромагнитной индукции:

$$\mathcal{E}_i = \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = B_{\perp} lv.$$

Задание № 10

В катушке индуктивностью $0,15$ Гн и очень малым сопротивлением r сила тока равна 4 А. Параллельно катушке присоединили резистор сопротивлением $R \gg r$. Какое количество теплоты выделится в катушке и в резисторе после быстрого отключения источника тока?

Ответ:



При параллельном подключении к катушке большого сопротивления $R \gg r$, сила тока, идущего через катушку практически не меняется. Энергия в катушке равна:

$$W_m = \frac{LI^2}{2}.$$

При отключении источника тока система катушка – сопротивление станет изолированной. Для изолированной системы справедлив закон сохранения энергии. В данном случае это означает, что вся энергия, запасенная в катушке, выделится в виде тепла в катушке и резисторе:

$$Q = \frac{LI^2}{2}; Q = \frac{0,15 \cdot 4^2}{2} = 1,2 \text{ Дж.}$$

$$[Q] = \left[\frac{\text{Гн} \cdot \text{А}^2}{2} \right] = \left[\frac{\text{В} \cdot \text{С} \cdot \text{А}^2}{2} \right] = [\text{В} \cdot \text{А} \cdot \text{С}] = [\text{Дж}].$$

Глава 2. Электромагнитные колебания

Упражнение 2

Задание № 1

После того как конденсатору колебательного контура был сообщен заряд $q = 10^{-5}$ Кл, в контуре возникли затухающие колебания. Какое количество теплоты выделится в контуре к тому времени, когда колебания в нем полностью затухнут? Емкость конденсатора $C = 0,01$ мкФ.

Ответ:

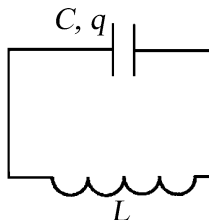
Дано:

$$q = 10^{-5} \text{ Кл}$$

$$C = 0,01 \text{ мкФ} = 10^{-8} \text{ Ф}$$

$$Q - ?$$

Решение:



В начальный момент времени ток в колебательном контуре не идет, и энергия магнитного поля индуктивности равна нулю. Энергия электрического поля конденсатора равна:

$$W_p = \frac{q^2}{2C}.$$

Согласно закону сохранения энергии, эта энергия выделится в виде тепла за время затухания колебаний:

$$Q = W_p = \frac{q^2}{2C}, \quad Q = \frac{(10^{-5})^2}{2 \cdot 10^{-8}} \text{ Дж} = 5 \cdot 10^{-3} \text{ Дж}.$$

$$[Q] = \left[\frac{\text{Кл}^2}{\text{Ф}} \right] = \left[\frac{\text{Кл} \cdot \text{В}^2}{\text{Кл}} \right] = [\text{Кл} \cdot \text{В}] = [\text{Дж}].$$

Задание № 2

Колебательный контур состоит из катушки с индуктивностью $L = 0,003 \text{ Гн}$ и плоского конденсатора емкостью $C = 13,4 \text{ пФ}$. Определите период свободных колебаний в контуре. Каков будет период, если пространство между обкладками конденсатора заполнить диэлектриком с диэлектрической проницаемостью $\varepsilon = 4$?

Ответ:

Дано:

$$L = 0,003 \text{ Гн} = 3 \cdot 10^{-3} \text{ Гн}$$

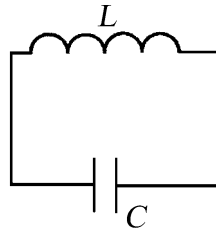
$$C = 13,4 \text{ пФ} = 1,34 \cdot 10^{-11} \text{ Ф}$$

$$\varepsilon = 4$$

$$T - ?$$

$$T_\varepsilon - ?$$

Решение:



Период свободных колебаний равен, согласно формуле Томсона:

$$T = 2\pi\sqrt{LC},$$

$$T = 2\pi\sqrt{3 \cdot 10^{-3} \cdot 1,34 \cdot 10^{-11}} \text{ с},$$

$$T \approx 1,26 \cdot 10^{-6} \text{ с}.$$

$$[T] = [\sqrt{\text{Гн} \cdot \text{Ф}}] = \left[\sqrt{\frac{B \cdot c}{A} \cdot \frac{Кл}{B}} \right] = \left[\sqrt{\frac{c \cdot c}{Кл} \cdot Кл} \right] = [c].$$

При заполнении конденсатора диэлектриком с диэлектрической проницаемостью ε емкость конденсатора увеличивается в ε раз:

$$C_{\varepsilon} = \varepsilon \cdot C.$$

$$T_{\varepsilon} = 2\pi \sqrt{LC_{\varepsilon}} = 2\pi \sqrt{LC\varepsilon} = T \cdot \sqrt{\varepsilon},$$

$$T_{\varepsilon} \approx 1,26 \cdot 10^{-6} \cdot \sqrt{4} \text{ с} = 2,52 \cdot 10^{-6} \text{ с}.$$

Задание № 3

В каких пределах должна изменяться индуктивность катушки колебательного контура, чтобы частота колебаний изменялась от 400 до 500 Гц? Емкость конденсатора 10 мкФ.

Ответ:

Дано:

$$C = 10 \text{ мкФ} = 1 \cdot 10^{-5} \text{ Ф}$$

$$\nu_1 = 400 \text{ Гц} = 4 \cdot 10^2 \text{ Гц}$$

$$\nu_2 = 500 \text{ Гц} = 5 \cdot 10^2 \text{ Гц}$$

$$L_1 - ?$$

$$L_2 - ?$$

Решение:

Найдем значения индуктивности, соответствующие верхней и нижней частотам колебаний.

Согласно формуле Томсона:

$$T = 2\pi \sqrt{LC},$$

$$\nu = \frac{1}{T} = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}};$$

$$LC = \left(\frac{1}{2\pi\nu} \right)^2, L = \frac{1}{C(2\pi\nu)^2};$$

$$L_1 = \frac{1}{C(2\pi\nu_1)^2}, L_2 = \frac{1}{C(2\pi\nu_2)^2};$$

$$L_1 = \frac{1}{1 \cdot 10^{-5} \cdot (2 \cdot \pi \cdot 4 \cdot 10^2)^2} \text{ Гн}, L_1 \approx 1,6 \cdot 10^{-2} \text{ Гн} = 16 \text{ мГн};$$

$$L_2 = \frac{1}{1 \cdot 10^{-5} \cdot (2 \cdot \pi \cdot 5 \cdot 10^2)^2} \text{ Гн}, L_2 \approx 1,0 \cdot 10^{-2} \text{ Гн} = 10 \text{ мГн};$$

$$[L] = \left[\frac{c^2}{\Phi} \right] = \left[\frac{B \cdot c}{A} \right] = [\text{Гн}].$$

Индуктивность катушки должна меняться в пределах от 10 до 16 мГн.

Задание № 4

Найдите амплитуду ЭДС, наводимой в рамке, вращающейся в однородном магнитном поле, если частота вращения составляет 50 об/с, площадь рамки 100 см² и магнитная индукция 0,2 Тл.

Ответ:

Дано:

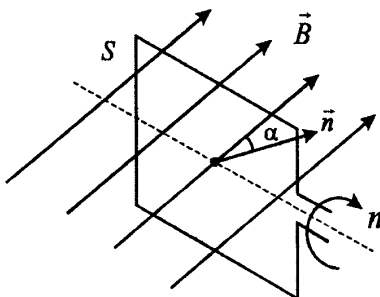
$$n = 50 \text{ об/с}$$

$$S = 100 \text{ см}^2 = 10^{-2} \text{ м}^2$$

$$B = 0,2 \text{ Тл}$$

$$\varepsilon_m - ?$$

Решение:



Пусть α - угол, который составляет вектор магнитной индукции $\vec{B}$ с нормалью к рамке $\vec{c}$. При равномерном вращении рамки угол α увеличивается прямо пропорционально времени:

$$\alpha = 2 \pi n t.$$

Найдем поток магнитной индукции:

$$\Phi = BS \cos \alpha,$$

$$\Phi = BS \cos(2 \pi n t).$$

Согласно закону электромагнитной индукции ЭДС в рамке равна скорости изменения магнитного потока, взятой с обратным знаком:

$$\varepsilon(t) = - \Phi' = - BS (\cos 2 \pi n t)' = 2 \pi n BS \sin 2 \pi n t.$$

Исходя из полученного выражения ЭДС индукции меняется по гармоническому закону с амплитудой $\varepsilon_m = 2 \pi n BS$;

$$\varepsilon_m = 2 \pi \cdot 50 \cdot 10^{-2} \cdot 0,2 \approx 0,63 \text{ В},$$

$$[\varepsilon] = \left[\frac{\text{м}^2 \cdot \text{Тл}}{\text{с}} \right] = \left[\frac{B \delta}{\text{с}} \right] = \left[\frac{B \cdot \text{с}}{\text{с}} \right] = [B].$$

Задание № 5

В проволочной рамке площадью $S = 100 \text{ см}^2$ возбуждается ЭДС индукции с амплитудой $\varepsilon_m = 1,4 \text{ В}$. Число витков в рамке $N = 200$. Рамка вращается с постоянным числом оборотов в однородном магнитном поле, индукция которого $B = 0,15 \text{ Тл}$. В начальный момент плоскость рамки перпендикулярна вектору $\vec{B}$. Определите ЭДС индукции ε в рамке спустя время $\tau = 0,1 \text{ с}$ после начала ее вращения.

Ответ:

Дано:

$$S = 100 \text{ см}^2 = 10^{-2} \text{ м}^2$$

$$\varepsilon_m = 1,4 \text{ В}$$

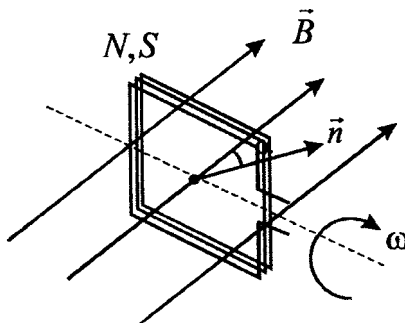
$$N = 200 = 2 \cdot 10^2$$

$$B = 0,15 \text{ Тл} = 1,5 \cdot 10^{-1} \text{ Тл}$$

$$\tau = 0,1 \text{ с} = 10^{-1} \text{ с}$$

$$\varepsilon \Big|_{t=\tau} - ?$$

Решение:



Пусть рамка вращается с некоторой циклической частотой. В этом случае угол α , который составляет нормаль $\vec{c}$ к рамке с вектором магнитной индукции $\vec{B}$, меняется со временем по закону:

$\alpha = \omega t + \alpha_0$, где α – начальный угол между $\vec{B}$ и $\vec{c}$. По условию $\alpha_0 = 0$ (рамка перпендикулярна $\vec{B}$ в начальный момент времени), поэтому $\alpha = \omega t$.

Соответственно, магнитный поток Φ через один виток рамки меняется со временем по закону:

$$\Phi = BS \cos \omega t,$$

Согласно закону электромагнитной индукции ЭДС индукции одного витка равна:

$$\varepsilon_1 = - \Phi' = BS \omega \sin \omega t.$$

Следовательно, ЭДС индукции рамки равна:

$$\varepsilon(t) = N \varepsilon_1 = N BS \omega \sin \omega t.$$

здесь $N BS \omega = \varepsilon_m$ – амплитуда ЭДС. Выразим ω через ε_m :

$$\omega = \frac{\varepsilon_m}{NBS}.$$

В соответствии с этим можно переписать выражение для ЭДС рамки в виде:

$$\varepsilon(t) = \varepsilon_m \sin \frac{\varepsilon_m t}{NBS}, \varepsilon|_{t=\tau} = \varepsilon_m \sin \frac{\varepsilon_m \tau}{NBS}.$$

$$\varepsilon|_{t=\tau} = 1,4 \cdot \sin \frac{1,4 \cdot 10^{-1}}{2 \cdot 10^2 \cdot 10^{-2} \cdot 1,5 \cdot 10^{-1}} \text{ В} = 0,63 \text{ В}.$$

Задание № 6

Катушка индуктивностью $L = 0,08 \text{ Гн}$ присоединена к источнику переменного напряжения с частотой $\nu = 1000 \text{ Гц}$. Действующее значение напряжения $U = 100 \text{ В}$. Определите амплитуду силы тока I_m в цепи.

Ответ:

Дано:

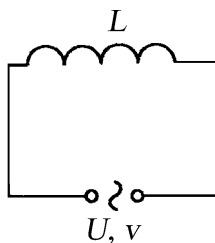
$$L = 0,08 \text{ Гн} = 8 \cdot 10^{-2} \text{ Гн}$$

$$\nu = 1000 \text{ Гц} = 1 \cdot 10^3 \text{ Гц}$$

$$U = 100 \text{ В} = 10^2 \text{ В}$$

$$I_m - ?$$

Решение:



Найдем индуктивное сопротивление катушки по формуле (2.42) учебника:

$X_L = \omega L$, где ω – циклическая частота тока, L – индуктивность. Так как, $\omega = 2 \pi \nu$, то:

$$X_L = 2 \pi \nu L.$$

Действующие значения силы тока и напряжения связаны соотношением (формула 2.43 учебника):

$$I = \frac{U}{XL} = \frac{U}{2\pi\nu L}.$$

Действующее значение силы переменного тока I выражается через его амплитуду (формула 2.31 учебника).

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}}, \quad I_m = \frac{\sqrt{2} U}{2\pi\nu L},$$

$$I_m = \frac{\sqrt{2} \cdot 10^2}{2 \cdot \pi \cdot 10^3 \cdot 8 \cdot 10^{-2}} \text{ A} = 2,8 \cdot 10^{-1} \text{ A} = 0,28 \text{ A}.$$

$$[I] = \left[\frac{B \cdot c}{ГН} \right] = \left[\frac{B \cdot c \cdot A}{B \cdot c} \right] = [A]$$

Глава 3. Производство, передача и использование электрической энергии

Упражнение 3

Задание № 1

Как должны быть расположены изолированные друг от друга стальные пластины сердечника ротора индукционного генератора для уменьшения вихревых токов?

Ответ:

В индуктивном генераторе ротор (его сердечник) вращается вокруг своей оси, а магнитное поле обычно направлено перпендикулярно его оси. По правилу левой руки, вдоль оси

ротора мы определяем силу Лоренса, действующую на его электроны. Поэтому вдоль его же оси наблюдается возбуждение вихревых токов. Для избежания энергетических потерь, связанных с большими индукционными токами, стальные пластины сердечника расположены перпендикулярно оси.

Задание № 2

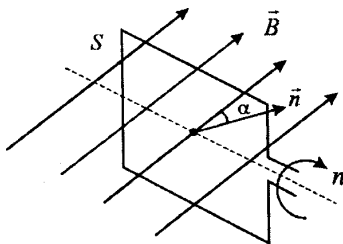
Проволочная прямоугольная рамка вращается в однородном магнитном поле. В каком случае наводимая в рамке ЭДС максимальна: когда плоскость рамки перпендикулярна линиям магнитной индукции или когда она параллельна им?

Ответ:

Предположим, рамка вращается в магнитном поле $\vec{B}$ с частотой n , а ее площадь равна S . Тогда угол нормали к линиям магнитной индукции линейно растет со временем $\alpha = 2\pi n t$.

Поток магнитной индукции $\Phi = BS \cos(2\pi n t)$, а ЭДС индукции равна:

$$\varepsilon(t) = -\Phi' = -BS (\cos 2\pi n t)' = 2\pi n BS \sin 2\pi n t.$$



Видно, что ЭДС достигает максимума, когда $\varepsilon(t)$ равна своей амплитуде:

$$\varepsilon_m = 2\pi n BS, \text{ то есть, когда } t = \frac{n}{4}, t = \frac{3n}{4}, t = \frac{5n}{4} \dots$$

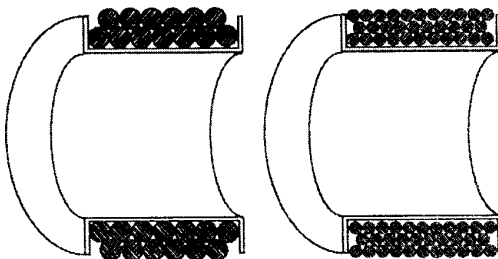
А это возможно, когда рамка параллельна линиям индукции.

Задание № 3

Обмотки трансформатора сделаны из провода разной толщины. Какая из обмоток содержит большее число витков?

Ответ:

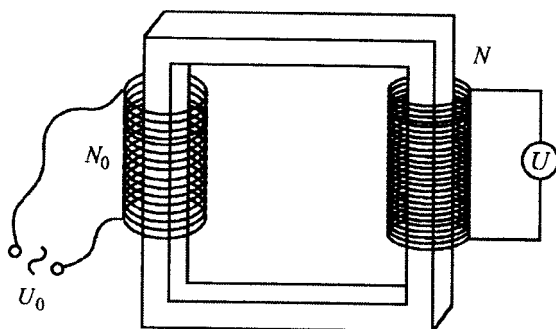
Очевидно, что при разной толщине проводов одинаковых по толщине обмоток, больше витков в той, где провод меньшей толщины.



Задание № 4

Придумайте способ определения числа витков обмотки трансформатора, не разматывая катушки.

Ответ:



Одним из методов определения числа витков катушки является баллистический метод, то есть когда искомую величину сравнивают с каким-то эталоном, а затем по этому отношению находят ее.

В данном случае надо взять источник переменного напряжения U_0 , эталонной катушки с известным числом витков, стального сердечника от трансформатора и вольтметра. Соберем из катушек трансформатор, затем эталонную катушку подключим к источнику напряжения, а другую к вольтметру. Мы получим трансформатор на холостом ходу. Для него справедливо соотношение:

$$\frac{U_0}{U} = \frac{N_0}{N}, \text{ откуда } N = N_0 \frac{U_0}{U}, \text{ где } N - \text{искомое число витков,}$$

U – напряжение, которое показывает вольтметр.

Задание № 5

Что может произойти, если случайно подключить трансформатор к источнику постоянного тока?

Ответ:

Подключим трансформатор к источнику постоянного напряжения. По нему потечет ток $I = U/R$, где U – активное сопротивление катушки, U – напряжение.

По закону Джоуля-Ленца будет выделяться тепло в единицу времени, равное:

$$Q = I^2 R = \frac{U^2}{R}.$$

Если же катушка подключена к источнику переменного напряжения с циклической частотой ω , то действующее значение тока равно:

$$I' = \frac{U'}{\omega L}, \text{ где } L - \text{индуктивность катушки, } U' - \text{действующее}$$

значение напряжения.

Предположим, что $U = U'$. Здесь учтено, что $\omega L \gg R$ (индуктивное сопротивление намного больше активного). При источнике переменного тока выделяемое тепло равно:

$$Q' = I'^2 R = \frac{U^2}{(\omega L)^2} R, \text{ а } \frac{Q}{Q'} = \frac{(\omega L)^2}{R} \gg 1.$$

То есть количество выделяемого тепла при подключении к источнику постоянного тока гораздо больше, и поэтому трансформатор может сгореть.

Задание № 6

Если в обмотке трансформатора замкнется один виток, трансформатор выходит из строя. Почему?

Ответ:

Пусть нам дан источник переменного напряжения с частотой ω и действующим значением U . Индуктивность катушки трансформатора L , а активное сопротивление R .

По катушке течет ток $I = \frac{U}{\omega L}$, так как активное сопротивление много меньше индуктивного $R \ll \omega L$.

Количество выделившегося тепла равно:

$$Q = I^2 R = \left(\frac{U}{\omega L} \right)^2 R.$$

Предположим, замкнулся один виток. Появится переменная ЭДС индукции ε , действующее значение которой равно:

$$\varepsilon = \frac{U}{N-1}, \text{ где } N - \text{число витков.}$$

Значит образуется система (трансформатор) из двух катушек: 1-ая с числом витков $N-1$, и 2-ая – из одного витка, замкнутого накоротко. В нем течет ток: $I_1 = \frac{\varepsilon_1}{R_1}$, $R_1 = \frac{R}{N}$.

$$I_1 = \frac{UN}{R(N-1)} \approx \frac{U}{R}, \text{ так как } N \gg 1.$$

Выделяемое тепло равно:

$$Q_1 = I_1^2 R_1 = \frac{U^2}{R^2} \cdot \frac{R}{N} = \frac{U^2}{RN}.$$

При незамкнутом витке:

$$Q_I' = \frac{Q}{N} = \left(\frac{U}{\omega L} \right)^2 \cdot \frac{R}{N}.$$

$$\frac{Q_1}{Q_1'} = \left(\frac{\omega L}{R} \right)^2, \text{ так как } R \ll \omega L, \text{ то } \frac{Q_1}{Q_1'} \gg 1.$$

Есть риск сгорания трансформатора.

Задание № 7

Найдите коэффициент трансформации всех понижающих трансформаторов, которые должны использоваться при передаче электроэнергии от генератора к потребителям в соответствии со схемой, приведенной на рисунке 58. (Потерями энергии можно пренебречь.). Решите ту же задачу для повышающего трансформатора.

Ответ:

Дано:

$$U_0 = 11 \text{ кВ} = 1,1 \cdot 10^4 \text{ В}$$

$$U_1 = 110 \text{ кВ} = 1,1 \cdot 10^5 \text{ В}$$

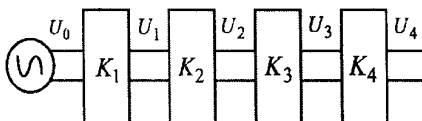
$$U_2 = 35 \text{ кВ} = 3,5 \cdot 10^4 \text{ В}$$

$$U_3 = 6 \text{ кВ} = 6 \cdot 10^3 \text{ В}$$

$$U_4 = 220 \text{ кВ} = 2,2 \cdot 10^2 \text{ В}$$

$$K_1, K_2, K_3, K_4 - ?$$

Решение:



По определению коэффициента трансформации:

$$K_1 = \frac{N_0}{N_1} = \frac{U_0}{U_1} = \frac{1,1 \cdot 10^4}{1,1 \cdot 10^5} = \frac{1}{10},$$

$$K_2 = \frac{U_1}{U_2} = \frac{1,1 \cdot 10^5}{3,5 \cdot 10^4} = \frac{22}{7},$$

$$K_3 = \frac{U_2}{U_3} = \frac{3,5 \cdot 10^4}{6 \cdot 10^3} = \frac{35}{6},$$

$$K_4 = \frac{U_3}{U_4} = \frac{6 \cdot 10^3}{2,2 \cdot 10^2} = \frac{300}{11}.$$

Глава 4. Электромагнитные волны

Упражнение 4

Задание № 1

В схеме радиоприемника, изображенного на рисунке 80, $L = 2 \cdot 10^{-4}$ Гн, емкость C переменного конденсатора может меняться от 12 до 450 пФ. На какие длины волн рассчитан этот радиоприемник?

Ответ:

Дано:

$$U_0 = 11 \text{ кВ} = 1,1 \cdot 10^4 \text{ В}$$

$$U_1 = 110 \text{ кВ} = 1,1 \cdot 10^5 \text{ В}$$

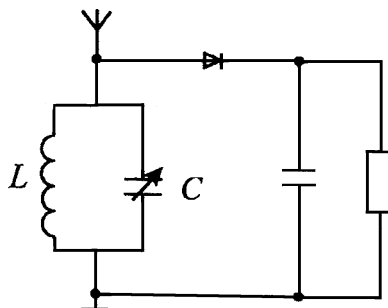
$$U_2 = 35 \text{ кВ} = 3,5 \cdot 10^4 \text{ В}$$

$$U_3 = 6 \text{ кВ} = 6 \cdot 10^3 \text{ В}$$

$$U_4 = 220 \text{ кВ} = 2,2 \cdot 10^2 \text{ В}$$

$K_1, K_2, K_3, K_4 - ?$

Решение:



Найдем спектр резонансных частот колебательного контура приемника, в котором возбуждаются модулированные колебания. Согласно формуле Томсона. Период колебаний контура равен:

$$T = 2\pi \sqrt{LC},$$

Циклическая частота колебаний контура равна:

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{1}{\sqrt{LC}}.$$

Следовательно, колебательный контур рассчитан на волны с циклической частотой от $\omega_2 = \frac{1}{\sqrt{LC_2}} \cdot \omega_1 = \frac{1}{\sqrt{LC_1}}.$

Связь между длиной волны λ и частотой электромагнитных колебаний $\nu = \frac{\omega}{2\pi}$ выражается формулой:

$$c = \lambda \nu = \frac{\lambda \nu}{2\pi}, \text{ где } c - \text{ скорость света в вакууме.}$$

$$\lambda = \frac{2\pi c}{\omega},$$

$$\lambda = 2\pi c \sqrt{LC_1},$$

$$\lambda = 2\pi c \sqrt{LC_2},$$

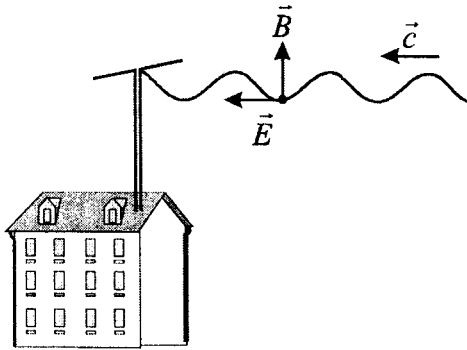
$$\lambda_1 = 2 \cdot \pi \cdot 3 \cdot 10^8 \cdot \sqrt{2 \cdot 10^{-4} \cdot 1,2 \cdot 10^{-11}} \approx 92 \text{ м},$$

$$\lambda_2 = 2 \cdot \pi \cdot 3 \cdot 10^8 \cdot \sqrt{2 \cdot 10^{-4} \cdot 4,5 \cdot 10^{-10}} \approx 565 \text{ м}.$$

Задание № 2

На рисунке 90 изображена приемная антенна телевизора. Что можно сказать об ориентации колебаний вектора магнитной индукции волны, идущей от телецентра?

Ответ:



При приеме электромагнитных волн антенна должна быть ориентирована параллельно вектору напряженности электрического поля. Это необходимо для создания нужной переменной разности потенциалов между двумя частями антенны.

Получается, что вектор магнитной индукции поля $\vec{B}'$, направленный перпендикулярно вектору напряженности $\vec{E}'$ и направлению волны, вертикален.

Задание № 3

Имеются ли существенные различия между условиями распространения радиоволн на Луне и на Земле?

Ответ:

Так как на Луне нет ионосферы, то радиоволны не отражаются, а уходят в космос. Поэтому на Луне невозможна передача сигналов на большие расстояния. Из-за многократного отражения волн от ионосферы Земли мы способны передавать сигналы на любые расстояния.

