

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ДГТУ)**

Кафедра «Физика»

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА ПО ФИЗИКЕ

направление 25.03.01 Техническая эксплуатация летательных аппаратов и двигателей
профиль 25.03.01 Инженерно-техническое обеспечение полетов летательных аппаратов

2 семестр

Ростов-на-Дону
2022

Введение

Контрольная работа (КР) по физике для студентов первого курса заочной формы обучения – это вид самостоятельной работы, предполагающий решение четырёх многоэтапных физических задач, проведение расчетов и построение графиков зависимостей физических величин.

Правила оформления контрольной работы

1. В каждом из четырёх заданий КР разработано 30 вариантов заданий, что обеспечивает возможность выполнения каждым студентом индивидуальной работы. **Номер варианта соответствует порядковому номеру студента в списке группы (см. электронный журнал).**
2. КР выполняется в 12-листовой тетради в клетку.
3. К обложке тетради приклеивается титульный лист установленного образца (см. файл Титульный лист) с заполненными данными студента.
4. КР выполняется от руки разборчивым почерком и не должна содержать исправлений.
5. Работа начинается с записи данных варианта задания под рубрикой «Дано».
6. Каждый пункт выполняемого задания должен быть пронумерован в соответствии с условием и озаглавлен.

Пример: 1. Период колебаний $T = \frac{2\pi}{\omega}$, $T = \frac{2 \cdot 3,14}{1,82} = 5,18 \text{ с}$.

7. Расчёт всех величин проводится с определённой точностью:
 - а) если значение величины больше единицы, то округление выполняется с точностью до двух знаков после запятой (пример: $x = 15,18639456 \approx 15,19$);
 - б) если значение величины меньше единицы, то округление выполняется с точностью до двух значащих цифр высшего разряда (пример: $x = 0,00253946 \approx 0,0025$).
8. Рисунки выполняются только с использованием простого карандаша, линейки, циркуля.

9. Графики строятся только с использованием простого карандаша и линейки на миллиметровой бумаге. Площадь поля каждого графика должна быть не менее 10 см×12 см.

10. На осях координат должны быть указаны физические величины и единицы их измерения; масштаб наносится на оси с постоянным шагом.

11. Точки наносятся на поле чертежа без указания их на координатных осях и проведения каких-либо штриховых линий.

12. Затем точки соединяются плавной линией, соответствующей графическому изображению той функции (линейной, квадратичной, экспоненциальной и т.д.), которая отражает проявляющуюся в данном опыте известную или предполагаемую физическую закономерность, выраженную в виде соответствующей формулы.

13. Если на одном поле располагаются несколько графиков, то каждый из них должен быть подписан.

Выполненная КР высылается почтой на адрес деканата факультета АВИАСТРОЕНИЕ.

Задание 1. ЭЛЕКТРОСТАТИКА

Краткая теория

Электрический заряд q – количественная мера электромагнитного взаимодействия тел, $[q] = 1 \text{ Кл}$ (кулон).

Электрическое поле – это форма материи, окружающая электрические заряды и переменные магнитные поля. Электрическое поле, созданное неподвижным зарядом, называется электростатическим.

Основной силовой характеристикой электростатического поля является его напряженность.

Напряженностью электрического поля, называется векторная величина, численно равная силе, действующей на помещенный в данную точку поля единичный положительный заряд:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}, \quad [E] = 1 \frac{\text{Н}}{\text{Кл}}.$$

Электрические поля изображают с помощью линий напряжённости.

Линией напряженности (или силовой линией) электрического поля называют линию, касательная к которой в любой её точке совпадает с направлением вектора напряженности. Линии напряженности электрического поля начинаются на положительных и заканчиваются на отрицательных зарядах; нигде не пересекаются; в любой точке поля плотность линий напряженности равна модулю напряженности поля в этой точке.

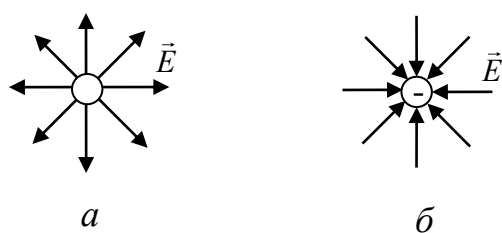


Рис. 1

напряжённости.

На рис. 1 приведены примеры изображения электрических полей точечного положительного заряда (рис. 1а) и точечного отрицательного заряда (рис. 1б) с помощью линий

Напряжённость поля точечного заряда:

$$E = \frac{q}{4\pi\epsilon\epsilon_0 \cdot r^2},$$

где q – заряд, создающий поле;

r – расстояние от заряда до точки пространства, в которой рассчитывается напряжённость электрического поля;

ε – относительная диэлектрическая проницаемость среды – величина, показывающая, во сколько раз напряжённость электрического поля в вакууме больше напряжённости этого же поля в данной среде, $\varepsilon = \frac{E_0}{E}$;

$\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{Кл}^2}{\text{Н} \cdot \text{м}^2}$ – электрическая постоянная.

Принцип суперпозиции полей: если электрическое поле создается несколькими точечными зарядами, то напряженность результирующего поля равна векторной сумме напряженностей полей, создаваемых в данной точке каждым зарядом в отдельности,

$$\vec{E} = \sum_{i=1}^N \vec{E}_i.$$

Потенциал поля в данной точке – скалярная физическая величина, численно равная потенциальной энергии, которой обладает единичный положительный заряд в данной точке поля,

$$\varphi = \frac{W_n}{q}, \quad [\varphi] = 1 \frac{\text{Дж}}{\text{Кл}} = 1 \text{В}.$$

Потенциал – энергетическая характеристика поля.

Потенциал в некоторой точке поля, созданного системой зарядов, равен алгебраической сумме потенциалов полей, созданных каждым зарядом в отдельности,

$$\varphi = \sum_{i=1}^N \varphi_i.$$

Потенциал поля точечного заряда:

$$\varphi = \frac{q}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0 r}.$$

Условие задания

Три точечных неподвижных заряда, модули которых равны $|q_1| = |q_2| = |q_3| = 8,85 \text{ нКл}$, расположены в вакууме ($\varepsilon = 1$) определённым образом (рис. 2).

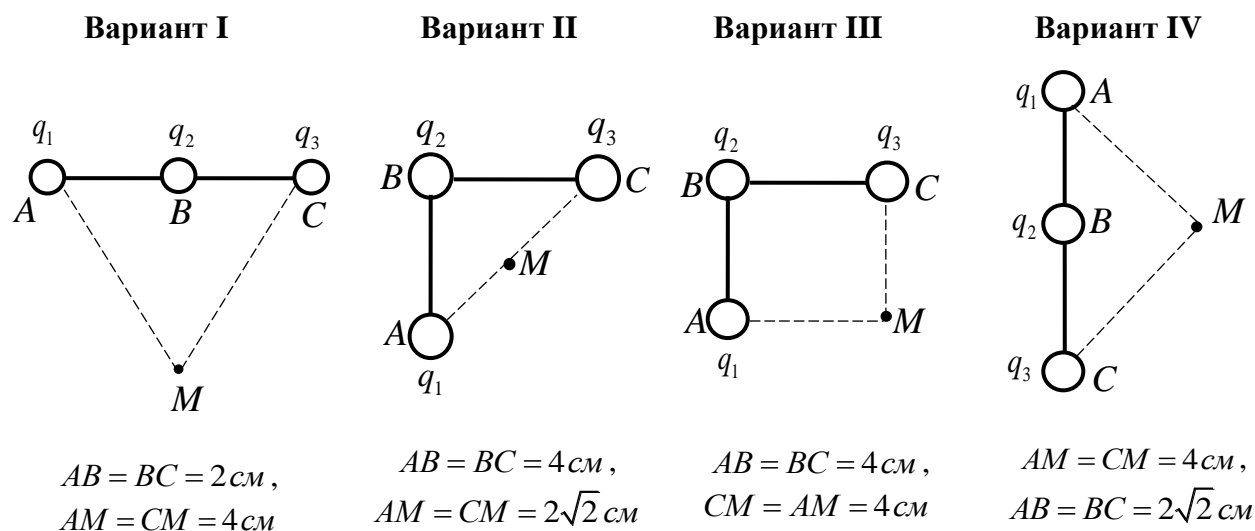


Рис. 2

Определить:

напряжённость и потенциал результирующего электрического поля, создаваемого этими зарядами в точке M , с учётом данных, соответствующих Вашему варианту (табл. 1).

Таблица 1. Варианты заданий

№ варианта	Вариант расположения зарядов	Знаки зарядов			№ варианта	Вариант расположения зарядов	Знаки зарядов		
		q_1	q_2	q_3			q_1	q_2	q_3
1	I	+	+	+	17	III	+	+	+
	I	–	+	+	18	III	–	+	+
3	I	+	–	+	19	III	+	–	+
4	I	+	+	–	20	III	+	+	–
5	I	–	–	–	21	III	–	–	–
6	I	+	–	–	22	III	+	–	–
7	I	–	+	–	23	III	–	+	–
8	I	–	–	+	24	III	–	–	+
9	II	+	+	+	25	IV	+	+	+
10	II	–	+	+	26	IV	–	+	+
11	II	+	–	+	27	IV	+	–	+
12	II	+	+	–	28	IV	+	+	–
13	II	–	–	–	28	IV	–	–	–
14	II	+	–	–	30	IV	+	–	–
15	II	–	+	–	31	IV	–	+	–
16	II	–	–	+	32	IV	–	–	+

Пример выполнения



Рис. 3

Два точечные неподвижные положительные заряда $q_1 = q_2 = 8,85 \text{ нКл}$ расположены в вакууме ($\varepsilon = 1$) на расстоянии $AC = 8 \text{ см}$ (рис. 3). Найти напряжённость и потенциал результирующего электрического поля, создаваемого этими зарядами в точке M , $CM = 2 \text{ см}$.

Электрическая постоянная $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{Кл}^2}{\text{Н} \cdot \text{м}^2}$.

Дано

$$q_1 = q_2 = 8,85 \text{ нКл} = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Кл}$$

$$AC = 8 \text{ см} = 8 \cdot 10^{-2} \text{ м}$$

$$CM = 2 \text{ см} = 2 \cdot 10^{-2} \text{ м}$$

$$\varepsilon = 1$$

$$\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{Кл}^2}{\text{Н} \cdot \text{м}^2}$$

$$\vec{E} = ?$$

$$\varphi = ?$$

Решение

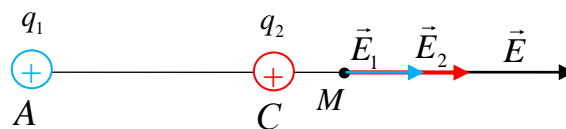


Рис. 4

Согласно принципу суперпозиции электрических полей напряжённость результирующего поля в точке M равна векторной сумме напряжённостей полей, создаваемых каждым зарядом в отдельности (рис. 4):

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2.$$

В скалярном виде,

$$E = E_1 + E_2.$$

Напряжённость поля, создаваемого точечным зарядом, определяется по формуле:

$$E = \frac{q}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0 \cdot r^2}.$$

Для заряда q_1

$$E_1 = \frac{q_1}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0 \cdot AM^2}.$$

Для заряда q_2

$$E_2 = \frac{q_2}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0 \cdot CM^2}.$$

Внимание! $\vec{E}_1 < \vec{E}_2$, т. к. $q_1 = q_2$ и $AM > CM$. Это должно быть видно на рисунке.

Напряжённость результирующего поля в точке M

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon\epsilon_0} \left(\frac{q_1}{AM^2} + \frac{q_2}{CM^2} \right).$$

Вычисления:

$$E = \frac{1}{4 \cdot 3,14 \cdot 1 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12}} \cdot \left(\frac{8,85 \cdot 10^{-12}}{10^2 \cdot 10^{-4}} + \frac{8,85 \cdot 10^{-12}}{2^2 \cdot 10^{-4}} \right) = 210 \frac{H}{Kл}.$$

Потенциал результирующего поля в точке M равен сумме потенциалов полей зарядов q_1 и q_2 ; т.к. оба заряда положительные,

$$\varphi = \varphi_1 + \varphi_2.$$

Потенциал поля точечного заряда:

$$\varphi = \frac{q}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r}.$$

Для заряда q_1 ,

$$\varphi_1 = \frac{q_1}{4\pi\epsilon\epsilon_0 \cdot AM}.$$

Для заряда q_2 ,

$$\varphi_2 = \frac{q_2}{4\pi\epsilon\epsilon_0 \cdot CM}.$$

Потенциал результирующего поля в точке M ,

$$\varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon\epsilon_0} \left(\frac{q_1}{AM} + \frac{q_2}{CM} \right).$$

Вычисления:

$$\varphi = \frac{1}{4 \cdot 3,14 \cdot 1 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12}} \cdot \left(\frac{8,85 \cdot 10^{-12}}{10 \cdot 10^{-2}} + \frac{8,85 \cdot 10^{-12}}{2 \cdot 10^{-2}} \right) = 4,8 B.$$

Ответ: $E = 210 \frac{H}{Kл}$, $\varphi = 4,8 B$.

Задание 2. ПОСТОЯННЫЙ ТОК

Краткая теория

Электрическим током называется упорядоченное движение электрических зарядов.

Закон Ома для однородного участка цепи: сила тока на однородном участке цепи прямо пропорциональна напряжению на этом участке и обратно пропорциональна его сопротивлению (рис. 1),

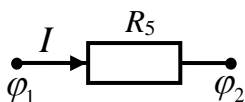


Рис. 1

$$I = \frac{U}{R}. \quad (1)$$

Напряжение на однородном участке цепи:

$$U = I \cdot R. \quad (2)$$

Единицы измерения величин: $[I] = 1 \text{ A}$ (ампер), $[U] = 1 \text{ B}$ (вольт), $[R] = 1 \text{ Ом}$ (ом).

Сторонние силы – это силы неэлектростатического происхождения, действующие на заряды внутри источников тока и поддерживающие разность потенциалов между полюсами.

Физическая величина, равная работе сторонних сил по перемещению единичного положительного заряда, называется э.д.с., действующей в цепи или на ее участке:

$$\varepsilon = \frac{A_{cm}}{q}, \quad [\varepsilon] = 1 \text{ B}.$$

Внутреннее сопротивление источника тока r – количественная характеристика источника тока, которая определяет величину энергетических потерь при прохождении через источник электрического тока, $[r] = 1 \text{ Ом}$.

Закон Ома для замкнутой цепи: сила тока в замкнутой цепи прямо пропорциональна э.д.с. источника тока и обратно пропорциональна сумме сопротивлений внутреннего и внешнего участков цепи (рис. 2),

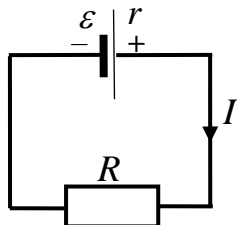


Рис. 2

$$I = \frac{\varepsilon}{R + r}. \quad (3)$$

С увеличением сопротивления напряжение на зажимах источника возрастает,

$$U = I \cdot R = \frac{\varepsilon R}{R + r} = \frac{\varepsilon}{1 + \frac{r}{R}}. \quad (4)$$

При $R \rightarrow \infty$, согласно (4), $U = \frac{\varepsilon}{1 + \frac{r}{\infty}} = \varepsilon$.

При $R \rightarrow 0$, согласно (4), $U = \frac{\varepsilon}{1 + \frac{r}{0}} = 0$.

При $R = r$, согласно (4), $U = \frac{\varepsilon}{1 + \frac{r}{r}} = \frac{\varepsilon}{2}$.

Полная мощность источника тока определяется формулой

$$P_{\text{ист}} = \varepsilon \cdot I. \quad (5)$$

С учётом (3),

$$P_{\text{ист}} = \frac{\varepsilon^2}{R + r}. \quad (6)$$

Полезная мощность, т.е. мощность, расходуемая на нагрузке,

$$P_n = U \cdot I. \quad (7)$$

С учётом (3) и (4),

$$P_n = \frac{\varepsilon^2 R}{(R + r)^2}. \quad (8)$$

Для выяснения условия, при котором P_n будет максимальной, исследуем функцию (8) на экстремум:

$$\frac{dP_n}{dR} = 0,$$

$$\frac{dP_n}{dR} = \frac{\varepsilon^2(R + r - 2R)}{(R + r)^3},$$

$$R + r - 2R = 0 \Rightarrow R = r,$$

т. е. полезная мощность максимальна, если внешнее сопротивление равно внутреннему сопротивлению источника тока.

В этом случае, в соответствии с (8),

$$P_{n \max} = \frac{\varepsilon^2}{4R} = \frac{\varepsilon^2}{4r}. \quad (9)$$

Коэффициент полезного действия источника тока КПД – отношение полезной мощности к его полной мощности:

$$\eta = \frac{P_n}{P_{\text{ист}}} . \quad (10)$$

В соответствии с (6) и (8),

$$\eta = \frac{R}{R + r} . \quad (11)$$

Если полезная мощность максимальна (при $R = r$),

$$\eta = \frac{R}{R + R} = 0,5 \text{ или } 50\% . \quad (12)$$

Если внешнее сопротивление $R = 0$, в цепи возникает короткое замыкание, ток источника резко возрастает и достигает своей максимальной величины; согласно (3)

$$I_{\text{к.з.}} = \frac{\varepsilon}{r} .$$

При $R = r$, согласно (3)

$$I = \frac{\varepsilon}{r + r} = \frac{\varepsilon}{2r} = \frac{I_{\text{к.з.}}}{2} .$$

Условие задания

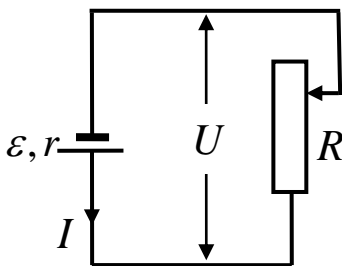


Рис. 3

Замкнутая электрическая цепь состоит из источника тока, который имеет э.д.с. ε и внутреннее сопротивление r , и реостата R (рис. 3). При перемещении ползунка реостата значение внешнего сопротивления цепи R может изменяться в пределах от 0 до 20 Ом с шагом 4 Ом. Варианты значений ε и r приведены в таблице 1.

Таблица 1. Варианты заданий

вариант	ε, B	$r, Ом$	вариант	ε, B	$r, Ом$	вариант	ε, B	$r, Ом$
1	52	2	11	52	4	21	52	6
2	52	2	12	52	4	22	52	6
3	56	2	13	56	4	23	56	6
4	58	2	14	58	4	24	58	6
5	60	2	15	60	4	25	60	6
6	62	2	16	62	4	26	62	6
7	64	2	17	64	4	27	64	6
8	66	2	18	66	4	28	66	6
9	68	2	19	68	4	28	68	6
10	70	2	20	70	4	30	70	6

1. Для каждого значения R рассчитать по формуле (3) силу тока I и по формуле (2) напряжение U на внешнем участке цепи. Результаты занести в табл. 2.
2. На одном поле (рис. 4) построить графики зависимостей $I = f(R)$ и $U = f(R)$.

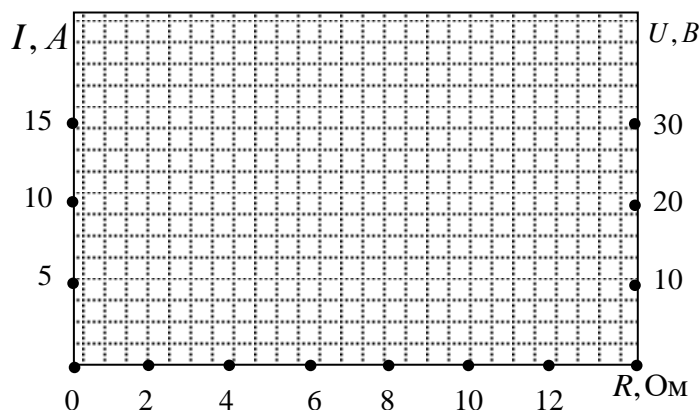


Рис. 4

Сделать вывод о характере зависимостей.

3. По графику $I = f(R)$ определить ток короткого замыкания $I_{к.з.}$. Убедиться, что значению сопротивления $R = r$ соответствует значение силы тока $I = \frac{I_{к.з.}}{2}$.
4. По графику $U = f(R)$ убедиться, что значению сопротивления $R = r$ соответствует значение напряжения $U = \frac{\varepsilon}{2}$.
5. Для каждого значения R рассчитать по формуле (5) полную мощность источника тока $P_{ист}$, по формуле (7) полезную мощность P_n , по формуле (10) коэффициент полезного действия η . Результаты занести в табл. 2.
6. На одном поле построить графики зависимостей $P_{ист} = f(R)$ и $P_n = f(R)$.
7. По графику $P_{ист} = f(R)$ убедиться, что значению сопротивления $R = 0$ соответствует значение полезной мощности источника $P_{ист} = \frac{\varepsilon^2}{r}$.
8. По графику $P_n = f(R)$ определить значение максимальной полезной мощности $P_{n\max}$ и соответствующие ей значения R . Убедиться, что $P_{n\max} = \frac{\varepsilon^2}{4r}$.
9. Построить график зависимости $\eta = f(R)$. По графику определить значение КПД, соответствующее значению сопротивления $R = r$.

Таблица 2. Результаты вычислений

$\varepsilon = \quad B, r = \quad Ом, I_{к.з.} = \quad A$											
$R, Ом$	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
I, A											
U, B											
P_{ucm}, Bm											
P_n, Bm											
η											

Задание 3. ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ИНДУКЦИЯ

Краткая теория

Магнитный поток для однородного магнитного поля индукцией \vec{B} и плоской поверхности S выражается формулой

$$\Phi = BS \cos \alpha, \quad (1)$$

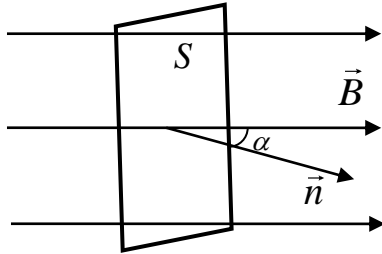


Рис. 1

где α – угол между векторами \vec{n} и \vec{B} ; \vec{n} – единичный вектор нормали к поверхности (рис. 1).

Явление электромагнитной индукции: в замкнутом проводящем контуре при любом изменении потока магнитной индукции через поверхность, ограниченную этим контуром,

возникает индукционный ток.

Если в контуре протекает ток i , значит в нем действует э.д.с., которая получила название *э.д.с. электромагнитной индукции*.

Закон Фарадея для электромагнитной индукции: э.д.с. электромагнитной индукции в замкнутом контуре равна скорости изменения магнитного потока сквозь поверхность, ограниченную этим контуром, взятой со знаком «минус».

$$\varepsilon_i = - \frac{d\Phi}{dt}. \quad (2)$$

Если изменяющийся магнитный поток пронизывает катушку, состоящую из N витков, то формула (2) принимает вид:

$$\varepsilon_i = -N \cdot \frac{d\Phi}{dt}$$

Учитывая (1), формула (2) примет вид:

$$\varepsilon_i = - \frac{d(BS \cos \alpha)}{dt} = - \left(B \frac{dS}{dt} \cos \alpha + \frac{dB}{dt} S \cos \alpha - BS \sin \alpha \cdot \frac{d\alpha}{dt} \right).$$

деформация
контура

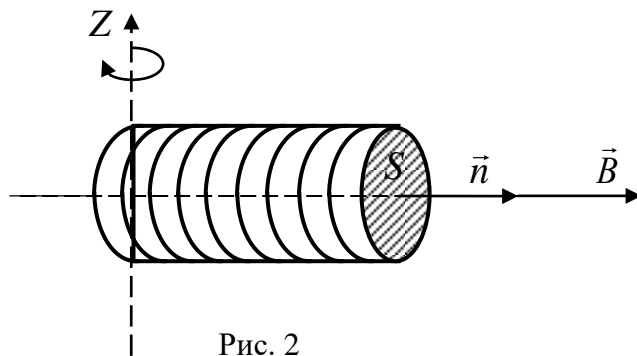
изменение
индукции

вращение
контура

Правило Ленца: индукционный ток всегда направлен так, чтобы своим магнитным полем противодействовать причине, его вызвавшей.

Условие задания

Катушка площадью поперечного сечения S , состоящая из $N=100$ витков проволоки сопротивлением $R=100\text{ Ом}$, равномерно вращается с частотой $\nu=50\text{ Гц}$ в однородном магнитном поле с индукцией \vec{B} . Ось вращения перпендикулярна линиям индукции магнитного поля. Концы катушки замкнуты между собой (рис. 2).



Определить:

- 1) закон изменения э.д.с. электромагнитной индукции $\varepsilon_i(t)$, возникающей во вращающейся катушке;
- 2) максимальную э.д.с. электромагнитной индукции $\varepsilon_{i\max}$, возникающую в катушке;
- 3) значения ε_i в моменты времени $t=0, \frac{T}{4}, \frac{T}{2}, \frac{3T}{4}, T$, результаты занести в табл. 1;

Таблица 1. Данные для построения графика $\varepsilon_i(t)$

t	0	$\frac{T}{4}$	$\frac{T}{2}$	$\frac{3T}{4}$	T
$\varepsilon_i, \text{В}$					

- 4) построить график зависимости $\varepsilon_i(t)$ в координатных осях, приведённых на рис. 3;
- 5) закон изменения силы индукционного тока $i(t)$, возникающего во вращающейся катушке при замкнутых электродах;
- 6) максимальное значение силы тока i_{\max} ;
- 7) значения i в моменты времени $t=0, \frac{T}{4}, \frac{T}{2}, \frac{3T}{4}, T$, результаты занести в табл. 2;

Таблица 2. Данные для построения графика $i(t)$

t	0	$\frac{T}{4}$	$\frac{T}{2}$	$\frac{3T}{4}$	T
i, A					

8) построить график зависимости $i(t)$ в координатных осях, приведённых на рис. 4.

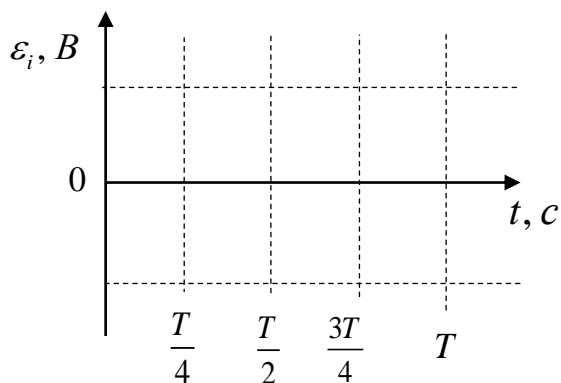


Рис. 3

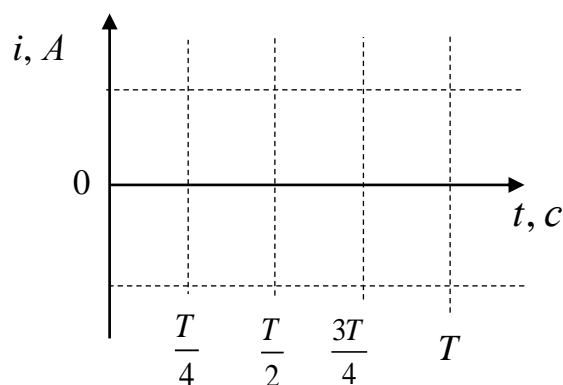


Рис. 4

Таблица 2. Варианты заданий

№ варианта	$S, м$	$B, Tл$ $\times 10^{-3}$	№ варианта	$S, м$	$B, Tл$ $\times 10^{-3}$
1	0,1	1,1	16	0,1	1,1
2	0,2	1,2	17	0,2	1,2
3	0,3	1,3	18	0,3	1,3
4	0,4	1,4	19	0,4	1,4
5	0,5	1,5	20	0,5	1,5
6	0,6	1,6	21	0,6	1,6
7	0,7	1,7	22	0,7	1,7
8	0,8	1,8	23	0,8	1,8
9	0,9	1,9	24	0,9	1,9
10	1,0	2,0	25	1,0	2,0
11	1,1	2,1	26	1,1	2,1
12	1,2	2,2	27	1,2	2,2
13	1,3	2,3	28	1,3	2,3
14	1,4	2,4	29	1,4	2,4
15	1,5	2,5	30	1,5	2,5