



МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени Н.Э. БАУМАНА

Учебное пособие

Методические указания
по выполнению домашних заданий по единому
комплексному заданию по блоку дисциплины

«Физика»

МГТУ имени Н.Э. Баумана

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени Н.Э. БАУМАНА

Методические указания
по выполнению домашних заданий по единому
комплексному заданию по блоку дисциплины

«Физика»

Москва
МГТУ имени Н.Э. Баумана

2012

УДК 681.3.06(075.8)
ББК 32.973-018
И201

Методические указания по выполнению домашних заданий по единому комплексному заданию по блоку дисциплины «Физика»
М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2012. – 24 с.: ил.

В методических указаниях рассмотрены основные этапы, их последовательность и содержание по выполнению домашних заданий по единому комплексному заданию по блоку дисциплины «Физика».

Ил. 39. Табл. 5. Библиогр. 7 назв.

УДК 681.3.06(075.8)

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2012

АННОТАЦИЯ

В работе проведены изучение физических законов, описывающих поведение физических тел, а именно законы электростатики и законы магнитостатики. В третьей части комплекса заданий проводится построения графика зависимости электромагнитной индукции от времени, которая воздействует на резистор, включенный в электрическую цепь.

ANNOTATION

In the work carried out to study the physical laws describing the behavior of physical bodies, namely the laws of electrostatics and magnetostatics laws. In the third part of the complex tasks performed plotting electromagnetic induction from time to time, which affects the resistor is included in the circuit.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	6
1.ИЗУЧЕНИЯ.ПРИНЦИПОВ.РАСЧЕТА.ФИЗИЧЕСКИХ.ТЕЛ.ПО.ЗАКОНАМ.....	6
ЭЛЕКТРОСТАТИКИ.И МАГНИТОСТАТИКИ.....	6
1.1 Домашнее задание 1.....	7
1.2 Домашнее задание 2.....	11
1.3 Домашнее задание 3.....	13
ВЫВОДЫ.....	23
СПИСОК.ИСПОЛЬЗОВАННЫХ.ИСТОЧНИКОВ	24

ВВЕДЕНИЕ

Цель работы – изучение принципов расчета объектов, описываемые законами электростатики и законами магнитостатики. В третьей части задания необходимо определить закон изменения электродвижущей силы, действующей на резистор электрической цепи с течением времени.

Условие 1:

Сферический конденсатор имеет радиусы внешней и внутренней обкладок R_1 и R_0 соответственно. Заряд конденсатора равен q . Величина диэлектрической проницаемости между обкладками меняется по линейному закону от значения ϵ_1 до ϵ_2 в интервале радиусов от R до R_1 и $\epsilon_3 = \text{const}$ в интервале радиусов от R_1 до R_0 ($R = \frac{1}{2}(R_0 + R_1)$). Построить графически распределение модулей векторов электрического поля E , поляризованности P и электрического смещения D между обкладками конденсатора. Определить поверхностную плотность зарядов на внутренней и внешней поверхностях диэлектриков, распределение объёмной плотности связанных зарядов $\rho'(r)$, максимальную напряжённость электрического поля E и ёмкость конденсатора.

Условие 2:

Проводник с током, равномерно распределённым по его поперечному сечению и имеющему плотность \mathbf{j} , имеет форму трубки, внешний и внутренний радиусы которой равны R_0 и R соответственно. Магнитная проницаемость меняется по закону $\mu = f(r)$. Построить графически распределения модулей векторов индукции магнитного поля \mathbf{B} и напряжённости магнитного поля \mathbf{H} , а также модуля вектора намагниченности \mathbf{J} в зависимости от r в интервале от R до R_0 . Определить поверхностную плотность токов намагничивания \mathbf{i}'_n на внутренней и внешней поверхностях трубки и распределение объёмной плотности токов намагничивания $\mathbf{i}'_{об}(r)$.

Условие 3 :

По двум гладким медным шинам скользит невесомая перемычка, к которой приложена переменная сила $F(t)$. Сопротивление перемычки равно R_0 , поперечное сечение S , концентрация носителей заряда (электронов) в проводнике перемычки равна n_0 . Перемычка замыкает электрическую цепь, состоящую либо из конденсатора ёмкости C , либо из индуктивности L или из сопротивления R , в соответствии с рисунком.

Расстояние между шинами l . Система находится в однородном переменном магнитном поле с индукцией $\mathbf{B}(t)$, перпендикулярном плоскости, в которой перемещается переключатель. Сопротивление шин, скользящих контактов, а также самоиндукция контура пренебрежимо малы. Ускорение переключателя в начальный момент времени конечно, а положение ее определено и равно $Y(0) = Y_0$.

1 ИЗУЧЕНИЯ ПРИНЦИПОВ РАСЧЕТА ФИЗИЧЕСКИХ ТЕЛ ПО ЗАКОНАМ ЭЛЕКТРОСТАТИКИ И МАГНИТОСТАТИКИ

1.1 Домашнее задание 1

Вариант 3

Условие:

Сферический конденсатор имеет радиусы внешней и внутренней обкладок R_1 и R_0 соответственно. Заряд конденсатора равен q . Величина диэлектрической проницаемости между обкладками меняется по линейному закону от значения ε_1 до ε_2 в интервале радиусов от R до R_1 и $\varepsilon_3 = \text{const}$ в интервале радиусов от R_1 до R_0 ($R_1 = \frac{1}{2}(R_0 + R)$). Построить графически распределение модулей векторов электрического поля E , поляризованности P и электрического смещения D между обкладками конденсатора. Определить поверхностную плотность зарядов на внутренней и внешней поверхностях диэлектриков, распределение объёмной плотности связанных зарядов $\rho'(r)$, максимальную напряжённость электрического поля E и ёмкость конденсатора.

$$\varepsilon_2/\varepsilon_1 = 2/1; \varepsilon_3/\varepsilon_1 = 3/2; R_0/R = 2/1$$

По результатам вычислений построить графически зависимости $D(r)/D(R)$, $E(r)/E(R)$, $P(r)/P(R)$, $\rho'(r)/\rho'(R)$ в интервале значений r от R до R_0 .

Решение:

$$\varepsilon_1 = \varepsilon, \varepsilon_2 = 2\varepsilon, \varepsilon_3 = \frac{3}{2}\varepsilon, R_0 = 2R, R_1 = \frac{1}{2}(R + R_0) = \frac{3}{2}R \quad (1)$$

Определим диэлектрическую проницаемость, как функцию радиуса

$$\varepsilon(r) = \begin{cases} \frac{\varepsilon_1 - \varepsilon_2}{R - R_1} r + \frac{\varepsilon_2 R - \varepsilon_1 R_1}{R - R_1} \\ \varepsilon_3 \end{cases} \quad (2)$$

$$\text{Для данного варианта } \varepsilon(r) = \begin{cases} \frac{2\varepsilon}{R} r - \varepsilon, R \leq r < R_1 \\ \frac{3}{2}\varepsilon, r \geq R_1 \end{cases} \quad (3)$$

По теореме Гаусса

$$\oiint \vec{D} d\vec{s} = q \Rightarrow D \cdot 4\pi r^2 = q \Rightarrow D(r) = \frac{q}{4\pi r^2} \quad (4) \text{ и не зависит от диэлектрической}$$

проницаемости ε ,

$$\frac{D(r)}{D(R)} = \frac{R^2}{r^2}. \text{ Т.к. } \vec{D} = \varepsilon \varepsilon_0 \vec{E}, \text{ то } E(r) = \frac{q}{4\varepsilon \varepsilon_0 \pi r^2}. \quad (5)$$

$$\text{Поэтому } E(r) = \begin{cases} q/4\pi r^2 \varepsilon_0 \left(\frac{2\varepsilon}{R} r - \varepsilon \right), R \leq r < R_1 \\ q/6\varepsilon \varepsilon_0 \pi r^2, r \geq R_1 \end{cases}, \quad \frac{E(r)}{E(R)} = \begin{cases} \frac{R^2}{2r^3 - r^2}, R \leq r < R_1 \\ \frac{R^2}{r^2}, r \geq R_1 \end{cases}. \quad (6)$$

$$\text{Т.к. } \vec{P} = \chi \varepsilon_0 \vec{E}, \text{ а } \chi = \varepsilon - 1, \text{ то } P(r) = \frac{q \cdot (\varepsilon - 1) \varepsilon_0}{4\pi \varepsilon \varepsilon_0 \pi r^2} = \frac{q}{4\pi r^2} \cdot \frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon}, \quad (7)$$

поэтому

$$P(r) = \begin{cases} q/4\pi r^2 - q/4\pi r^2 \left(\frac{2\varepsilon}{R} r - \varepsilon \right), R \leq r < R_1 \\ q(3\varepsilon - 2)/12\varepsilon \pi r^2, r \geq R_1 \end{cases} \Rightarrow \frac{P(r)}{P(R)} = \begin{cases} \frac{2r\varepsilon - R(\varepsilon + 1)}{(2r - R)(\varepsilon - 1)} \cdot \frac{R^2}{r^2}, R \leq r < R_1 \\ \frac{R^2}{r^2}, r \geq R_1 \end{cases}.$$

(4).(6)

Определим поверхностную плотность связанных зарядов

$\sigma'(r) = P_n = \frac{q(\varepsilon - 1)}{4\pi \varepsilon r^2} \cos \varphi$, где $\cos \varphi$ косинус угла между нормалью между рассматриваемой поверхностью и поляризованностью, для внутренней поверхности $\cos \varphi = \cos \pi = -1$, а для внешней поверхности $\cos \varphi = \cos 0 = 1$.

$$\text{Тогда } \sigma'(r) = \begin{cases} -q/4\pi r^2 + q/4\pi r^2 \left(\frac{2\varepsilon}{R} r - \varepsilon \right), R \leq r < R_1 \\ q(3\varepsilon - 2)/12\varepsilon \pi r^2, r \geq R_1 \end{cases}. \quad (7)$$

$$\text{Поэтому } \sigma'(R) = -\frac{q}{4\pi R^2} + \frac{q}{4\pi \varepsilon R^2}, \text{ а } \sigma'(R_0) = \sigma'(2R) = \frac{q(2\varepsilon - 1)}{48\pi \varepsilon R^2}. \quad (5)$$

Объёмная плотность связанных зарядов $\rho' = -\nabla P$, для полярных координат $\rho' = \frac{(r^2 P)'}{r^2}$.

$$\text{Поэтому } \rho'(r) = \begin{cases} -q/2\pi \varepsilon R r^2 \left(\frac{2}{R} r - 1 \right)^2, R \leq r < R_1 \\ 0, r \geq R_1 \end{cases} \Rightarrow \frac{\rho'(r)}{\rho'(R)} = \begin{cases} \frac{R^2}{r^2 \left(\frac{2}{R} r - 1 \right)^2}, R \leq r < R_1 \\ 0, r \geq R_1 \end{cases}.$$

(3).(4)

Для определения ёмкости вычислим напряжение на его обкладках

$$U = \int_R^{R_1} E_1(r) dr + \int_{R_1}^{R_0} E_2(r) dr = \int_R^{R_1} \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2 \left(\frac{2\epsilon}{R} r - \epsilon\right)} dr + \int_{R_1}^{R_0} \frac{q}{6\epsilon\epsilon_0 \pi r^2} dr = -\frac{q}{4\pi\epsilon\epsilon_0 R} \cdot \left(\ln \frac{16}{9} - \frac{7}{9} \right)$$

$$\text{Поэтому } C = \frac{q}{U} = \frac{4\pi\epsilon\epsilon_0 R}{\ln \frac{16}{9} - \frac{7}{9}}.$$

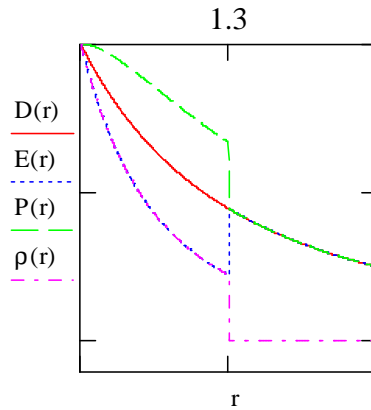


Рисунок 1 – Распределение электромагнитных направляющих

На рисунке 1 изображена конечная часть домашнего задания, иллюстрирующая комбинацию законов распределения электромагнитных направляющих

1.2 Домашнее задание 2

Условие:

Проводник с током, равномерно распределённым по его поперечному сечению и имеющему плотность \mathbf{j} , имеет форму трубки, внешний и внутренний радиусы которой равны R_0 и R соответственно. Магнитная проницаемость меняется по закону $\mu=f(r)$. Построить графически распределения модулей векторов индукции магнитного поля \mathbf{B} и напряжённости магнитного поля \mathbf{H} , а также модуля вектора намагниченности \mathbf{J} в зависимости от r в интервале от R до R_0 . Определить поверхностную плотность токов намагничивания \mathbf{i}'_n на внутренней и внешней поверхностях трубки и распределение объёмной плотности токов намагничивания $\mathbf{i}'_{об}(r)$.

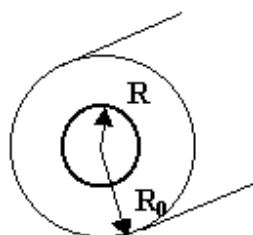


Рисунок 2 – Электромагнитная катушка

Функция $\mu=f(r)$ для чётных вариантов имеет вид: $\mu=(R_0^n+r^n)/R_0^n$.

Функция $\mu=f(r)$ для нечётных вариантов имеет вид: $\mu=(R_0^n+r^n)/R^n$.

Таблица 1 Значения параметров R_0/R и n в зависимости от номера варианта.

Таблица 1 – Исходные данные

Вариант	R_0/R	n
1	2/1	1
2	2/1	2
3	3/1	1
4	3/1	2

Задача 2

Решение:

Напряженность поля вычислим по теореме о циркуляции вдоль контура l , совпадающего с окружностью радиуса r :

$$\oint_l \vec{H} d\vec{l} = \int_s \vec{j} d\vec{S} \Rightarrow H * 2\pi * r = j(\pi * r^2 - \pi * R^2)$$
$$H(r) = \frac{j(r^2 - R^2)}{2r} = \frac{j r}{2} - \frac{j R^2}{2r}; \quad r \in (R, R_0) \quad (1)$$

Эта формула будет справедлива для всех вариантов Задачи 2 за счёт независимости напряжённости от величины магнитной проницаемости среды.

Вариант 1

По условию:

$$R_0 = 2R; \mu = \frac{2R + r}{R}$$

Вычислим магнитную индукцию по формуле:

$$B = \mu \mu_0 H$$

$$B = \frac{\mu_0 j (r^2 - R^2)}{2r} * \frac{2R + r}{R} \Rightarrow B(r) = \frac{\mu_0 j (r^2 - R^2)(2R + r)}{2Rr} \quad (1)$$

Намагниченность материала проводника:

$$J = \chi * H = (\mu - 1)H = \frac{j(r^2 - R^2)}{2r} * \left(\frac{2R + r}{R} - 1 \right) \Rightarrow$$

$$J(r) = \frac{j(r^2 - R^2)(R + r)}{2Rr} = \frac{j}{2Rr} (Rr^2 - R^3 + r^3 - R^2r)$$

Плотность тока намагничивания:

$$\vec{j}'_n = \text{rot}(\vec{J})$$

Записав это выражение в виде определителя в цилиндрических координатах, учитывая осевую симметрию, можно привести его к виду:

$$j'_n = \frac{1}{r} \frac{\partial(rJ)}{\partial(r)}$$

Подставив в эту формулу выражение для намагниченности и продифференцировав, получим:

$$j'_n = \frac{j(2Rr + 3r^2 - R^2)}{2Rr}$$

Найдём плотность тока намагничивания на внутренней и внешней поверхностях проводника:

$$j'_n(R) = \frac{j(2R^2 + 3R^2 - R^2)}{2R^2} = 2j$$

$$j'_n(R_0) = j'_n(2R) \frac{j(4R^2 + 12R^2 - R^2)}{4R^2} = \frac{15}{4} j \quad (2)$$

График зависимостей $B(r), H(r), J(r)$, где r изменяется от R до R_0

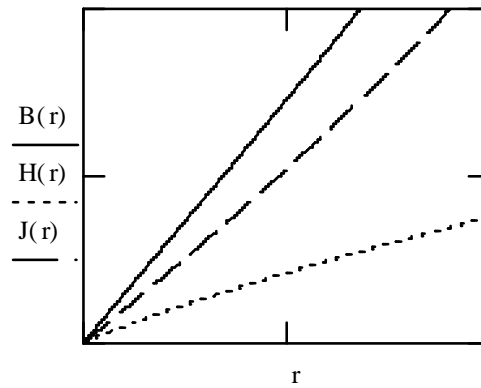


Рисунок 3 – Распределение законов электромагнитных сил

На рисунке 3 получены законы распределения для определенных магнитных законов, описывающих работу магнитной катушки.

1.3 Домашнее задание 3

Условие:

По двум гладким медным шинам скользит невесомая перемычка, к которой приложена переменная сила $F(t)$. Сопротивление перемычки равно R_0 , поперечное сечение S , концентрация носителей заряда (электронов) в проводнике перемычки равна n_0 . Перемычка замыкает электрическую цепь, состоящую либо из конденсатора ёмкости C , либо из индуктивности L или из сопротивления R , в соответствии с рисунком. Расстояние между шинами l . Система находится в однородном переменном магнитном поле с индукцией $B(t)$, перпендикулярном плоскости, в которой перемещается перемычка. Сопротивление шин, скользящих контактов, а также самоиндукция контура пренебрежимо малы. Ускорение перемычки в начальный момент времени конечно, а положение ее определено и равно $Y(0) = Y_0$.

Закон изменения магнитного поля для нечетных вариантов $B_z = c \exp(-mt)$,

Закон изменения силы для всех вариантов $F_y = -f \exp(-nt)$;

Константы f и c считать известными.

Определить:

- 1) закон изменения тока $I(t)$;
- 2) закон движения перемычки $Y = Y(t)$;
- 3) максимальное значение Y_{\max} ;
- 4) законы изменения проекции силы Лоренца на ось X (F_{Lx}) и на ось Y (F_{Ly}), действующей на электрон;
- 5) закон изменения напряженности электрического поля в перемычке $E(t)$;
- 6) установить связь между силой Ампера, действующей на перемычку, и силой Лоренца, действующей на все электроны в перемычке.
- 7) построить зависимости тока через перемычку ($I(t) / I_{\max}$), $Y(t)/Y(0)$.

Таблица 2 – начальных данных

<i>№ варианта</i>	<i>n</i>	<i>m</i>
21	n	3n

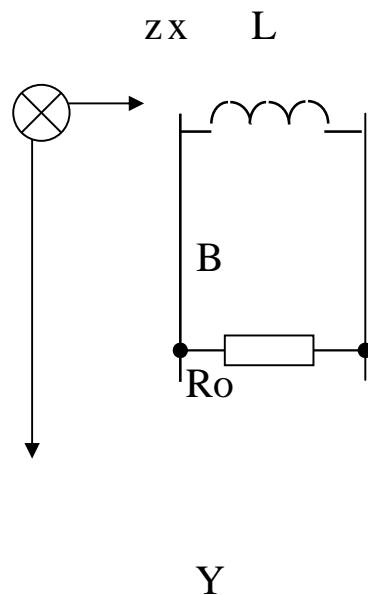


Рисунок 4 – Распределение электродвижущей силы на тело

На рисунке 4 изображены оси направления взгляда с точки зрения направления электродвижущих сил, в зависимости от направления движения электрического тока.

Дано:

$$F = -fe^{-nt}, R_0, S,$$

$$L, n_0, l, B_z = -ce^{-nt},$$

$$M=0; Y(0)=Y_0;$$

$$1) I(t) - ?; 2) Y=Y(t) - ?;$$

$$3) Y_{\max} - ?; 4) F_{ly} - ?;$$

$$5) F_{lx} - ? 6) E(t) - ?;$$

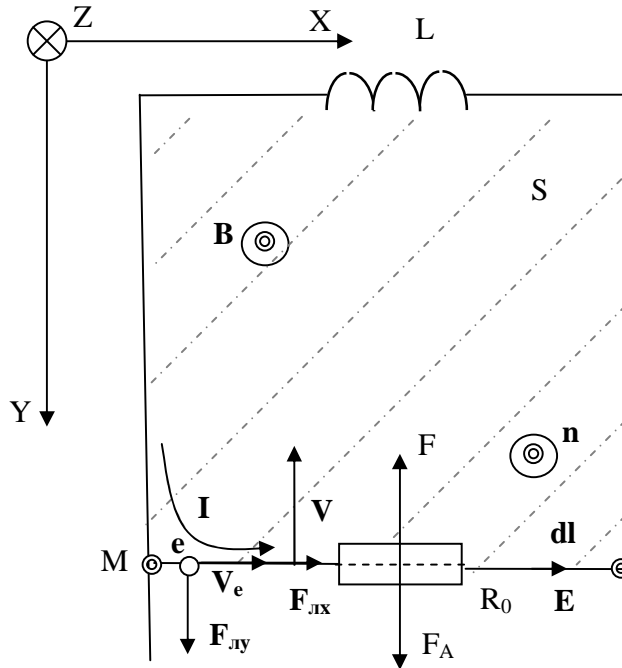
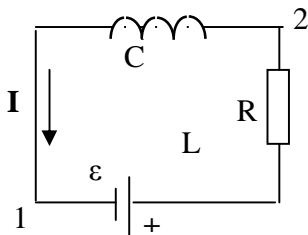


Рисунок 6 – Распределение электродвижущих сил на объект

Рисунок 5 – Схема электрическая принципиальная

1) Рассчитаем магнитный поток через поверхность S , натянутую на проводящий контур:

$$\Phi = \iint_S (\vec{B} d\vec{S}) = \iint_S B dS \cos(\vec{B}, d\vec{S}); \quad (1)$$

Так как $\vec{n} \uparrow \vec{B}$, то $\cos(\vec{B}, d\vec{S}) = \cos 0 = 1$;

С учетом этого:

$$\Phi = \iint_S B dS \cos(\vec{B}, d\vec{S}) = \iint_S B dS = BS; \quad (1.1)$$

Площадь контура и индукция магнитного поля есть функции времени t , поэтому магнитный поток будет функцией t :

$$\Phi(t) = B(t)S(t) = ce^{-nt} ly(t) = cle^{-3nt} y(t); \quad (1.2)$$

Применим для определения ЭДС индукции закон Фарадея:

$$\varepsilon = -\frac{d\Phi}{dt}; \quad (1.3)$$

Подставим сюда выражение из (1.2) и продифференцируем:

$$\varepsilon = -\frac{d\Phi}{dt} = -cl \frac{d(e^{-3nt} y(t))}{dt} = 3cnle^{-3nt} y(t) - cle^{-3nt} y'(t); \quad (1.4)$$

Определим по правилу *Ленца* направление индукционного тока и учтем его в дальнейших рассуждениях, обозначив на чертеже.

Для определения силы I используем основное уравнение динамики в проекции на ось Y :

$$M \ddot{y} = \sum F_y = F_A - F; \quad (1.5)$$

Учитывая, что стержень невесомый получаем:

$$F_A = F(t) = -fe^{-nt} \quad (1.6)$$

Найдем силу Ампера, действующую на перемычку:

$$d\vec{F} = I[\vec{dl}, \vec{B}].$$

Поэтому, учитывая, что $\vec{dl} \perp \vec{B} \Rightarrow \sin(\vec{dl}, \vec{B}) = 1$ и интегрируя по длине перемычки, получим:

$$F_A = \int_l IB dl \sin(\vec{dl}, \vec{B}) = IB \int_l dl = IBl; \quad (1.7)$$

Из уравнений (1.6) и (1.7) получаем:

$$IBl = F(t);$$

тогда:
$$I = \frac{F(t)}{Bl} = \frac{-fe^{-nt}}{Bl}$$

при $B_z = -ce^{-3nt}$:

$$I = \frac{fe^{2nt}}{cl} \quad (1.8);$$

2) Составим эквивалентную схему и рассчитаем зависимость координаты Y от времени.

Закон Ома для неоднородного участка цепи:

$$R_0 I = \varphi_1 - \varphi_2 + \mathcal{E}; \quad (2.1)$$

Учитывая, что $I = \frac{fe^{2nt}}{cl}$ и $\varphi_2 - \varphi_1 = U = -L \frac{dI}{dt}$ перепишем (2.1) в виде:

$$\frac{R_0 f}{cl} e^{2nt} = -2L \frac{nf}{cl} e^{2nt} + e^{-3n} (3ncl y(t) - cly'(t)) \quad (2.2)$$

перепишем данное выражение с условием, что $U = -L \frac{dl}{dt} = -2L \frac{nf}{cl} e^{2nt}$:

$$\frac{R_0 f}{cl} e^{2nt} = U + e^{-3nt} (3ncl y(t) - cly'(t))$$

Решим данное дифференциальное уравнение

$$y'(t) - 3ny(t) = -\frac{fn}{c^2 l^2} (R_0 + 2Ln) e^{5nt};$$

Данное уравнение — линейное с постоянными коэффициентами, и правой частью специальной вида.

Общее решение связанного однородного уравнения:

$$Y_{o.o} = ke^{3nt};$$

Частное решение неоднородного уравнения запишем в виде:

$$Y_{ч.н.} = -\frac{f}{2c^2 l^2} (R_0 + 2Ln) e^{5nt};$$

Общее решение данного уравнения записываем в виде:

$$Y(t) = Y_{o.o} + Y_{ч.н.} = ke^{3nt} - \frac{f}{2c^2 l^2} (R_0 + 2Ln) e^{5nt};$$

Произвольную постоянную k определим из начального условия $Y(0) = Y_0$:

$$k = \frac{f}{2c^2 l^2} (R_0 + 2Ln) + Y_0;$$

Окончательно:

$$Y(t) = \left(\frac{f}{2c^2 l^2} (R_0 + 2Ln) + Y_0 \right) e^{3nt} - \frac{f}{2c^2 l^2} (R_0 + 2Ln) e^{5nt}; \quad (2.4)$$

3) Определим максимальное значение $Y(t) = Y_{\max}$:

$$\frac{dY}{dt} = 3n \left(\frac{f}{2c^2 l^2} (R_0 + 2Ln) + Y_0 \right) e^{3nt} - \frac{5nf}{2c^2 l^2} (R_0 + 2Ln) e^{5nt} = 0.$$

Логарифмируя, получим:

$$t_0 = \frac{1}{2n} \left[\ln \left(\frac{3f}{2c^2 l^2} (R_0 + 2Ln) + Y_0 \right) - \ln \left(\frac{5f}{2c^2 l^2} (R_0 + 2Ln) \right) \right]$$

$$Y_{\max} = Y(t_0) = \left(\frac{3}{5} + \frac{Y_0 c^2 l^2}{5f(R_0 + 2Ln)} \right) \left(\frac{3}{2} Y_0 - \frac{f}{2c^2 l^2} (R_0 + 2Ln) \right); \quad (3)$$

4) Найдем проекцию силы Лоренца, действующей на заряды в перемычке в проекции на ось Y. Движение электрона складывается из собственного движения в проводнике и движения вместе с перемычкой. Силу Лоренца в проекции на ось Y вызывает собственное движение электронов:

$$F_{ly} = e[\vec{v}_x \vec{B}]; \quad (4)$$

Найдем скорость движения электронов в проводнике:

$$j = nev_x, \text{ отсюда } v_x = \frac{j}{ne}.$$

Подставляя сюда $j = \frac{I}{S}$, получим:

$$v_x = \frac{j}{ne} = \frac{I}{neS}; \quad (4.1)$$

Подставляя в это выражение формулу из (1.8) получим:

$$v_x = \frac{I}{neS} = \frac{1}{neS} \frac{fe^{2nt}}{cl}; \quad (4.2)$$

Подставим найденное соотношение (4.2) в исходную формулу (4) и учитывая, что $\vec{v}_x \perp \vec{B} \Rightarrow \sin(\vec{v}_x, \vec{B}) = 1$:

$$F_{ly} = e[\vec{v}_x \vec{B}] = ev_x B \sin(\vec{v}_x, \vec{B}) = -\frac{fe^{-nt}}{nlS}; \quad (4.3)$$

5) Найдем проекцию силы Лоренца, действующей на заряды в перемычке в проекции на ось X.

Силу Лоренца в проекции на ось Y вызывает переносное движение электронов вместе с перемычкой. Данная сила компенсируется силами реакций медных шин.

$$F_{lx} = e[\vec{v}_y \vec{B}]; \quad (5)$$

Скорость переносного движения электронов равна скорости движения перемычки:

$$v_y = v = \dot{y} = 3n \left(\frac{f}{2c^2 l^2} (R_0 + 2Ln) + Y_0 \right) e^{3nt} - \frac{5nf}{2c^2 l^2} (R_0 + 2Ln) e^{5nt}; \quad (5.1)$$

Подставляя полученное в формулу (5) и учитывая, $\vec{v}_y \perp \vec{B} \Rightarrow \sin(\vec{v}_y, \vec{B}) = 1$ записываем:

$$F_{lx} = e[\vec{v}_y \vec{B}] = ev_y B \sin(\vec{v}_y, \vec{B}) = -e \left(3n \left(\frac{f}{2c^2 l^2} (R_0 + 2Ln) + cY_0 \right) - \frac{5nf}{2c^2 l^2} (R_0 + 2Ln) e^{2nt} \right) \quad (5.2)$$

б) Найдем напряженность электрического поля в перемычке:

$$\text{Имеем: } \vec{E} = -\text{grad}\varphi, E_1 = -\frac{d\varphi}{dx}. \quad (6)$$

Из уравнения (2.1) получаем, отсчитывая потенциал от точки М:

$$R(x)I = -\varphi(x) + \varepsilon \quad (7.1)$$

Считаем, что сопротивление в перемычке однородно по длине и получаем:

$$R(x) = \frac{R}{l} x;$$

Отсюда:

$$\varphi(x) = -R(x)I + \varepsilon; \quad (7.2)$$

Подставляя в (7) и используя (2.2), получим:

$$E_1 = -\frac{d\varphi}{dx} = -\frac{d(-R(x)I + \varepsilon)}{dx} = \frac{fR}{cl^2} e^{2nt} \quad (7.3)$$

8) Выполним проверку полученных результатов:

Сила Ампера является результатом действия силы Лоренца на каждый носитель электрического заряда и является суммой этих сил.

$$F_A = \sum F_L. \quad (8)$$

Вычислим силу Ампера как сумму сил Лоренца, действующих на электроны в перемычке:

$$F_a = F_{ly} N; \text{ где } N - \text{кол-во электронов в перемычке.} \quad (8.1)$$

$$N = nSl \quad (8.2)$$

Подставляя выражения (8.2) и (5.3) в (8.1) получим:

$$F_A = F_{ly} N = -nSl \frac{fe^{-nt}}{nlS} = -fe^{-nt};$$

Сравнивая полученный результат, со значением силы, полученным в (1.6), убеждаемся, что они совпадают.

Выполним проверку единиц измерения:

$$[I] = H \left(\frac{1}{\text{мТл}} \right) = A;$$

$$[Y] = \frac{H}{Tl^2 M^2} \left(O_M + \frac{\Gamma_H}{c} \right) = M;$$

$$[E] = \frac{H * O_M}{Tl * M^2} = \frac{B}{M};$$

9) Построим графики зависимостей $\frac{I(t)}{I_{\max}}$ и $\frac{Y(t)}{Y(0)}$:

$$\frac{I(t)}{I_{\max}} = e^{-nt};$$

$$\frac{Y(t)}{Y(0)} = \left(\frac{f}{2c^2 l^2 Y_0} (R_0 + 2Ln) + 1 \right) e^{3nt} - \frac{f}{2c^2 l^2 Y_0} (R_0 + 2Ln) e^{5nt} = (A+1)e^{3nt} - A e^{5nt};$$

где

$$A = \frac{f(R_0 + 2Ln)}{2c^2 l^2 Y_0}$$

Ответ:

$$1) I = \frac{fe^{2nt}}{cl}$$

$$2) Y(t) = \left(\frac{f}{2c^2l^2} (R_0 + 2Ln) + Y_0 \right) e^{3nt} - \frac{f}{2c^2l^2} (R_0 + 2Ln) e^{5nt};$$

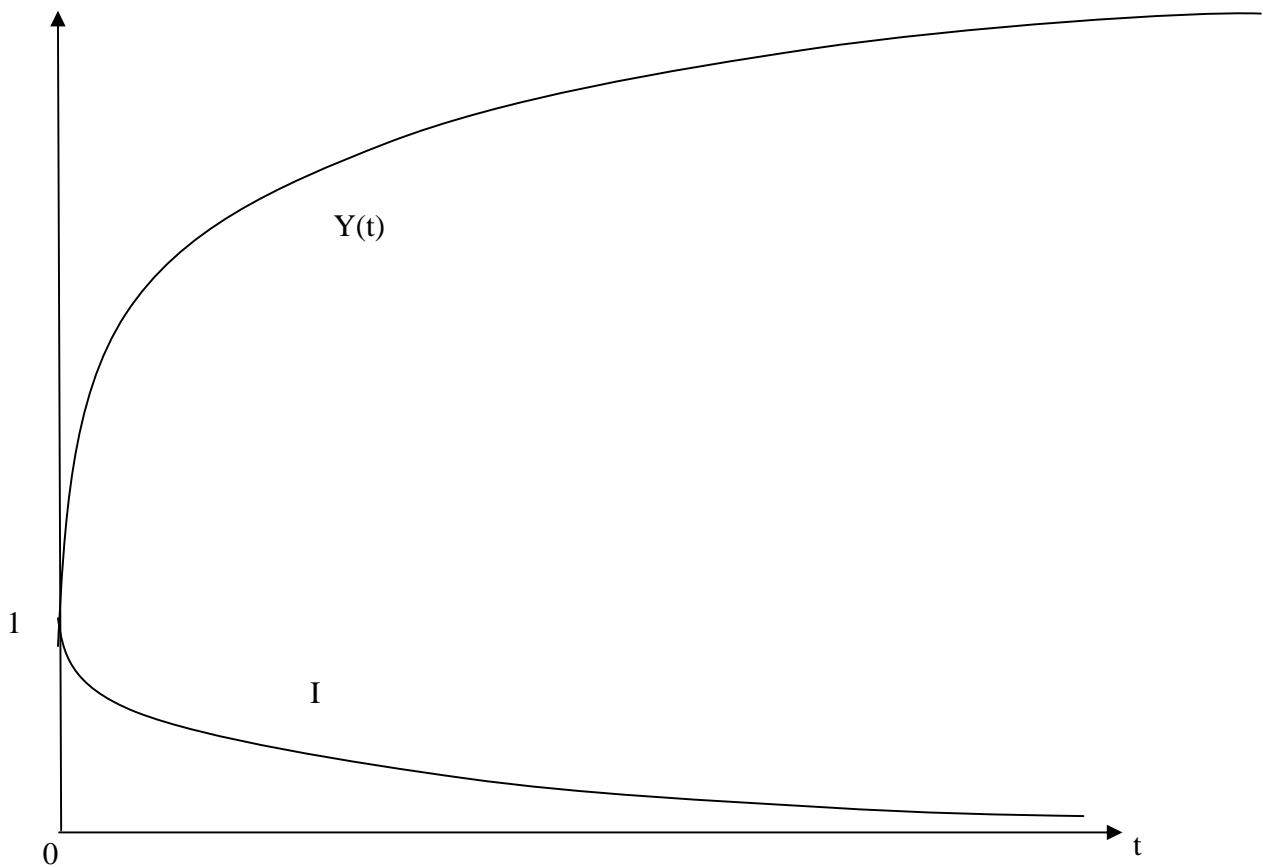


Рисунок 7 – Законы распределения электродвижущей силы, действующей на объект.

На рисунке 7 изображен закон изменения электродвижущей силы с течением времени, действующий на резистор, который включен в электрическую принципиальную цепь.

$$3) Y_{\max} = Y(t_0) = \left(\frac{3}{5} + \frac{Y_0 c^2 l^2}{5 f (R_0 + 2Ln)} \right) \left(\frac{3}{2} Y_0 - \frac{f}{2 c^2 l^2} (R_0 + 2Ln) \right);$$

$$4) \frac{F}{I} = \frac{f e^{-nt}}{Y(t) n l S};$$

$$5) F_{\text{лх}} = -e \left(3n \left(\frac{f}{2c l^2} (R_0 + 2Ln) + c Y_0 \right) - \frac{5nf}{2c l^2} (R_0 + 2Ln) e^{2nt} \right)$$

$$6) E(t) = \frac{fR}{c l^2} e^{2nt};$$

По итогам работы по всем трех пунктам были получены графики зависимости электрических и/или магнитных сил в зависимости от времени.

ВЫВОДЫ

На практических примерах, в ходе выполнения трех частей домашнего задания были изучены принципы расчета объектов, описываемые законами электростатики и законами магнитостатики. В третьей части задания был определен закон изменения электродвижущей силы, действующей на резистор электрической цепи с течением времени.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Вайскопф В. Наука и удивительное (как человек понимает природу). - М.: Наука, 1965.
2. Готт В. С. Философские вопросы современной физики. - М.: Высшая школа, 1988.
3. Зельдович Я.Б., Хлопов М.Ю. Драма идей в познании природы.- М.: Наука, 1988.
4. Капица П. Л. Эксперимент. Теория. Практика. - М.: Наука, 1977.