# МГТУ им. Н.Э. Баумана

# Домашнее задание по теме: «Электромагнитная индукция»

Студент: Сироткин Н.В.

Группа: РК9-32 Вариант: №21

Москва, 2005г.

**Условие:**

По двум гладким медным шинам скользит невесомая перемычка, к которой приложена переменная сила **F**(t). Сопротивление перемычки равно Ro, поперечное сечение S, концентрация носителей заряда (электронов) в проводнике перемычки равна n0. Перемычка замыкает электрическую цепь, состоящую либо из конденсатора ёмкости С, 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 **В**(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) =Y0.

Закон изменения магнитного поля для нечетных вариантов ВZ = c exp(- mt),

Закон изменения силы для всех вариантов FY = -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 Ymax;

4) законы изменения проекции силы Лоренца на ось X (Fлx) и на ось Y (Fлy), действующей на электрон;

5) закон изменения напряженности электрического поля в перемычке E(t);

1. установить связь между силой Ампера, действующей на перемычку, и силой Лоренца, действующей на все электроны в перемычке.
2. построить зависимости тока через перемычку (I(t) / I max), Y(t)/Y(0).

| ***№ варианта*** | ***n*** | ***m*** |
| --- | --- | --- |
| 21 | n | 3n |

z x L





B

Ro

y

**Дано:**

, R0, S,

L, n0, *l*, ,

M=0; Y(0)=Yo;

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

3)Ymax - ?; 4) - ?;

5) -? 6) E(t) - ?;



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

(1)

Так как , то

С учетом этого:

(1.1)

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

(1.2)

Применим для определения ЭДС индукции закон Фарадея:

; (1.3)

Подставим сюда выражение из (1.2) и продифференцируем:

(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:

(1.5)

Учитывая, что стержень невесомый получаем:

(t) (1.6)

Найдем силу Ампера, действующую на перемычку:

.

Поэтому, учитывая, что и интегрируя по длине перемычки, получим:

(1.7)

Из уравнений (1.6) и (1.7) получаем:

=F(t);

тогда:

при :

I= (1.8);

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

Закон Ома для неоднородного участка цепи:

(2.1)

Учитывая, что и перепишем (2.1) в виде:

(2.2)

перепишем данное выражение с условием, что :

Решим данное дифференциальное уравнение

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

Общее решение связанного однородного уравнения:

;

Частное решение неоднородного уравнения запишем в виде:

;

Общее решение данного уравнения записываем в виде:

Произвольную постоянную k определим из начального условия :

;

Окончательно:

Y(t)= (2.4)

3) Определим максимальное значение Y(t) = Ymax:

.

Логарифмируя, получим:

(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:

(4)

Найдем скорость движения электронов в проводнике:

, отсюда .

Подставляя сюда , получим:

; (4.1)

Подставляя в это выражение формулу из (1.8) получим:

(4.2)

Подставим найденное соотношение (4.2) в исходную формулу (4) и учитывая, что :

(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.

(5)

Скорость переносного движения электронов равна скорости движения перемычки:

(5.1)

Подставляя полученное в формулу (5) и учитывая, записываем:

(5.2)

6) Найдем напряженность электрического поля в перемычке:

Имеем: , . (6)

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

(7.1)

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

Отсюда:

; (7.2)

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

(7.3)

8) Выполним проверку полученных результатов:

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

. (8)

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

; где N – кол-во электронов в перемычке. (8.1)

(8.2)

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

;

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

Выполним проверку единиц измерения:

;

9) Построим графики зависимостей :

# Ответ:

1) I=

2) Y(t)=

3)

4)

5)

6) E(t) ;