

Лабораторная работа №2 (3-61)

Энергия магнитного поля

Цель работы: ознакомление с магнитным полем и электромагнитной индукцией; изучение энергии магнитного поля катушки индуктивности магнитометрическим методом

Теоретическая часть

Введение в часть: Электромагнитное поле -

- особая форма материи, появляется там, где существует движущиеся заряженные частицы. Электромагнитное поле имеет две пересекающиеся гр. в группах составленных из E -полей и B -полей. Оно существует независимо в виде const полей.

Источники стационарного магнитного поля:

- постоянн. тока
- переменн. тока
- движущихся зарядов

Магнитное поле возникает в рез. движении зарядов, движении магнитного момента электронов.

1. Синтетическое магнитное поле

Основные критерии для магнитного поля:

E - напряженность и B - магнитная индукция, которые определяются через поток, зависящий от времени t , максимум в единицах Тесла поля:

$$\bar{F}_d = q \bar{E}; \quad \bar{F}_n = q [\bar{V}, \bar{B}] \quad (1)$$

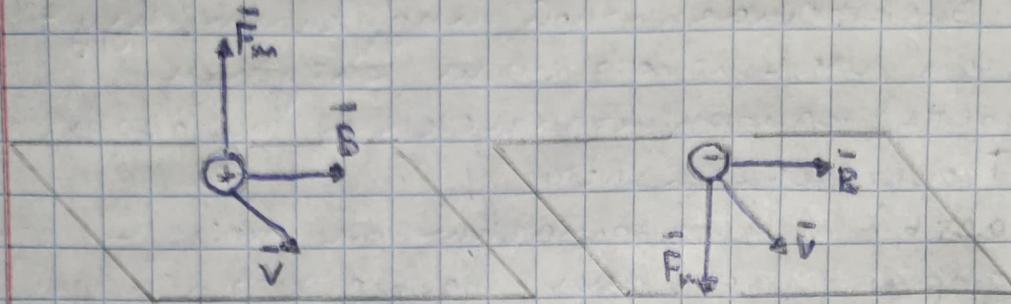
В магнитном поле F действует только на движущийся заряд q

$$F_m = q V B \sin \theta, \quad \text{где } \theta = \bar{V} \wedge \bar{B}$$

$F_m \perp (V, B)$, например если V направлен вертикально вправо, то

то $\theta = 90^\circ$ например противоположно B .

КВ2
Eq. магнитной индукции - T (Tesla)
В поле с индукцией 1 T на расстояние s
зарядом 1 Кл и скорость 1 м/с действует
сила 1 Н



$$\text{Так } \vec{E} = \frac{\vec{F}_m}{q}, \quad B = \frac{F}{qv \sin \alpha}$$

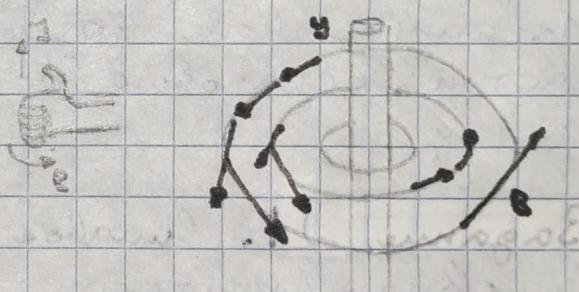
Часто в B кроме магнитного поля подается
взаимное поле других полей. Их результатом -
- это коррекция результата вида:

$$\vec{F} = q(\vec{E} + [\vec{v}, \vec{B}])$$

+ С. Ампера
 $F_A = BIL \sin \alpha$

КВ3

Магн. поля определяет движение заряженных частиц:



2. Магнитное поле, создаваемое токами.

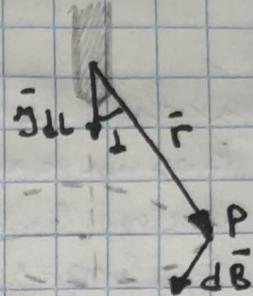
Дл. ток создает магнитное поле. Равн.-заряж. - же. закон Тихо-Сафирова и принцип суперпозиции.

Д. токами - расположены в волнистом. Равнозаряженные частицы засоры по dL , равнозаряженные частицы индуцируют

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \gamma \frac{dI \vec{r}}{r^3}$$

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \gamma \frac{dI L \sin \alpha}{r^3}$$

$$3 \text{ га} \times \frac{\mu_0}{2\pi r} = \text{магн. инт}, \quad 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{Tm}}{\text{A}}$$



Суммарное магнитное поле в
магн. инт. можно вычислить
поскольку правило Био-Савара
напоминает формулу для суммы
токов:

$$\vec{B} = \sum \vec{dB}$$

Поэтому если сферически симметрическое поле
a) на расстоянии r от центра имеет вид

$$B = \frac{\mu_0 I L}{2\pi r}$$

b) B внутри сферического тела радиуса r :

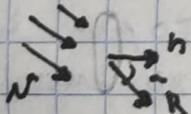
$$B = \frac{\mu_0 I L}{2r}$$

c) Внутри сферического тела радиуса r имеется
один единственный проводник с током I :

$$B = \mu_0 I \cdot \frac{r}{2}$$

3. Электромагнитная индукция и связанные с ней

- Элек. индукция - явление возникновение
вн. тока при изменении во времени магн. инт.
или при движении проводника в магн. инт.
- Определение Фарadaysко-Лоренца, это является ЗЛУ
от $\Delta \Phi$ магнитного потока за время Δt
 $\Phi = BS \cos \alpha = B_n S l$, где $B_n = B \cos \alpha$ - проекция
 B на нормаль к S



Максимальный поток - склонр. $\{B_f - T \cdot m^2\}$

Поток пропорционален числу линий магн. инт.,
проходящих через поверхность.

Если М. инт. неоднороден / S не плоский, то
можно его разбить на dS

$$d\Phi = B_n dS, \text{ тогда } \Phi = \int B_n dS$$

KBG

Закон Фардоля - Максвелла (з. Фардоль):

Возмущение вену им. тока в контуре
изменяется, то есть при $\Delta \Phi$ поток в
изолированной петли - он Φ , а ток - бирюк. эдс

$$E_i = -\frac{d\Phi}{dt} - \text{скорость изм. } \Phi \text{ изр. } S, \text{ сп. контура}$$

Если контур сплошной, т.е. состоят из N витков,
то $E_i = -\sum d\Phi/dt = -d(\sum \Phi)/dt = -d\Phi/dt$.

Величина $\Phi = \sum \Phi$ наз. - си магнитной потоком (изолированной). Если Φ проходит лежащими N витками, симметрично, то $\Phi = N \cdot \Phi$

Сторонние силы в ЗОС

При поддержании тока в них силе, то
перемещение для запуска процесса магнито-
стата неиз. Токи силы называются сторонними
перемещениями q , силы силы совершают АДР.,
передвиж.

$$E = \frac{\text{Acte}}{q} - \text{сторонний силы [ТБ]} \quad .$$

Сторонние силы

Наведение вихревых
зл. потоков перемещения
ионов

Магнитная сила,
приводящая в движение
ионов в поле магнитного

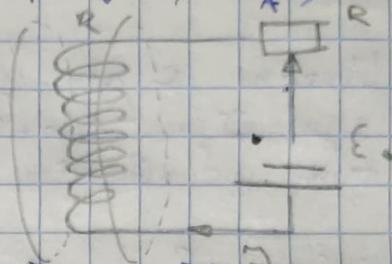
Самоиндукция

Контур К с E_0 в начальном, когда сферы
ионов находятся в нем. нет прерываний, то
есть индукция в каждой точке одинаковая.
ион тока (з. Гир - Север), а потому поток
ионов. поток $\sim \Psi$ $\Rightarrow \Psi = L \cdot \Psi$, где L - индуктивность
контура

W - виток. E_2 - индуктивное звено ($\Gamma_2 = \frac{B_2}{4}$)

KB8

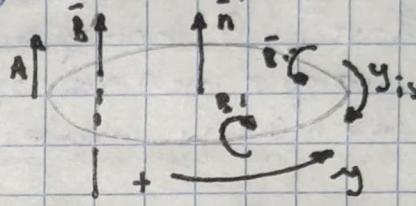
Если ток изменяется, то есть
в витке. Тогда по 3. ЗМ индукции
изменяется $\Gamma_{12} = -d\Phi/dt =$
 $= -L dI/dt$



Если индукция меняется, то есть
изменяется Γ_2 - то индуктивность не пропорциональна
тока (если например ток, это для индуктивности
пропорционально току)

KB7

Но если в магн. потоке B
через контур, ток, создает B
где ток, это для момента M_B .
Очень "- " в формуле E_{12}



Энергия магнитного поля

ЗМ поля обладает энергией, содержащейся в B , и
в M_{max} . Рассмотрим энергию стационарного поля
в контуре E_L :

$$E = L \frac{dy}{dt} \quad M = \frac{E}{L} t$$

Ранее ясно, что время на dy соответствует работе:

$$dA_{cr} = E dy = E y dt = L \frac{dy}{dt} y \cdot dt \Rightarrow A_{cr} = L \cdot y^2 / 2$$

Вот работа поля на создание магн. поля,

затраченная на работу: $W_m = \frac{L y^2}{2} = W_m y^2 / L$.

Максимальное поле имеет энергию, ее можно
выразить через B (из расчетов): $W_m = B^2 / (2 \mu_0) -$
стационарный B .

KB10

Изменение в установившемся токе катушки.

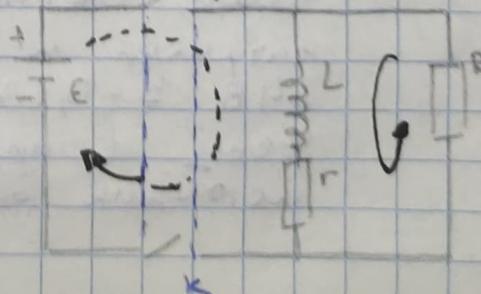
К $E \rightarrow 0$ подходит $L \cdot C \cdot \Gamma \parallel$ катушка - R

Если замкнуть К в катушке
ускорение $y = f$

Резонансная К (стационарный)

записать в К катушке поляризации:

$$E_{12} = -L \frac{dy}{dt}$$



Ток протекает в контуре с R: $(R+r)I = -L \frac{dI}{dt}$

Из-за магн. индукции ($t=0: I_0$) $\Rightarrow I = I_0 \exp(-t/\tau)$, где $\tau = L/(r+R)$ - время полного разряда. За это время ток убывает в e раз.

Если $R \ll L$ то описывается, что мы знаем K, то есть

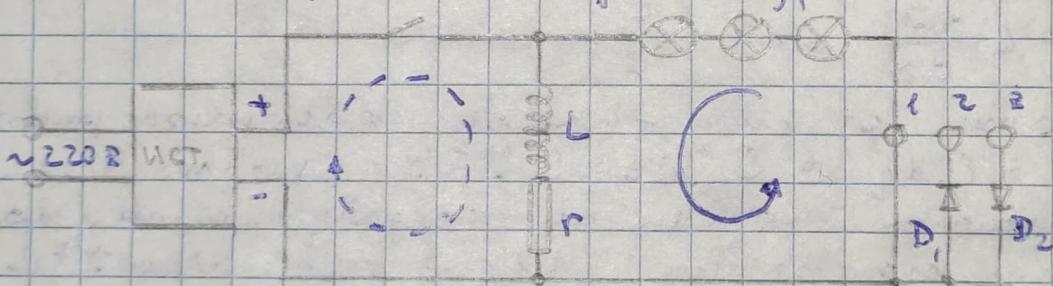
$$I = I_0 (1 - \exp(-t/\tau)), \text{ где } \tau = \frac{L}{R}$$

Что? В контуре с индуктивностью имеется не только ток, но и его производная по времени \Rightarrow напряж. сб-бо \leq макс. напр. катушки.

Экспериментальная часть

Приборы и материалы: калориметр; методика измерения, несколько микропечей - блоков.

Тубусы с "так катушками"



Xод работы:

Задание №1. Измерение силы тока в сп-а
магн. энергии в генераторе

Блок состоит из ($L \approx 0.3\text{ Гн}$ и $r = 120\text{ Ом}$) - катушек и 11 витков 3^{\times} листа, рассчитанных на 24 В. $I = 0.1\text{ А}$, $R_{внеш} = 240\text{ Ом}$ в раб. сост.

Через L пропускают ток 1 А, от $U_{внеш} = 12\text{ В}$, источник работает от сети 220 В

Выполнимое

1. Включите тумблер "Блок катушки" и включите
2. Ист. света в розетку
3. Включите тумблер в "Ток", практически
он будет в L в силу малой $\tau \Rightarrow$ лампа
горит слабо
4. Реже включаем тумблер - лампа реже
вспыхивает, а затем загорается в силу того,
что в цепи возникает ток Si, равный в начальном
также катушки, т.е. 1A, который в 10 раз больше
и не дает гореть лампе.

Таблица 1:

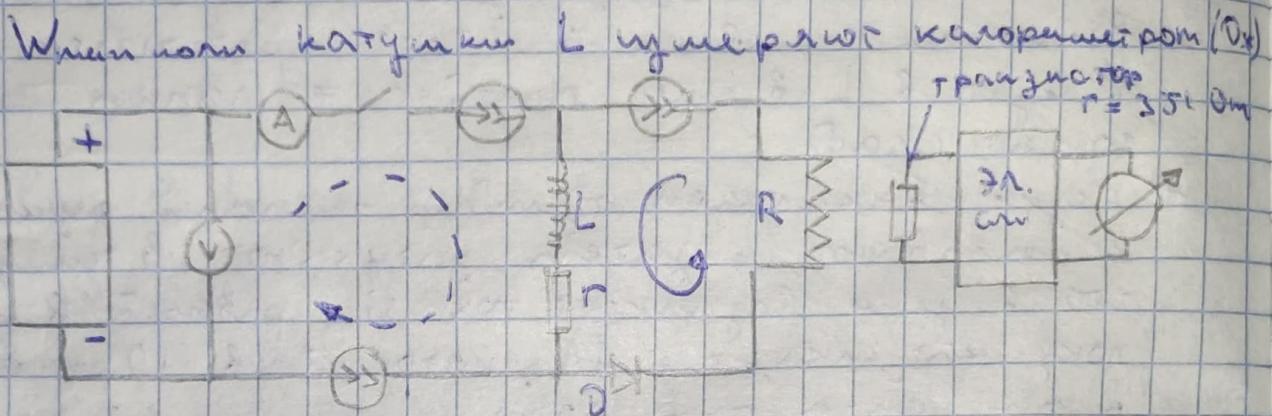
$L, Гн$	I, A	$W_m, Дж$	$\tau, с$	$\varepsilon_{is}, В$
0,3	1	0,15	0,0004	700

5. Выполним опыт с диодами:

D_1 и D_2 пропускают ток только в направлении стрелки.

- a) Установим П в положение 2. Вкл ток катушки
изделияности. При этом через L протекает
1A. Через лампу ток не протекает, тк. D_1
не пропускает ток ист. При вкл тумблера
пропускает вспышка, но не яркая \Rightarrow ток Si
имеет напр-е по синемой стрелке, то
есть по инерции в том же направлении.
Лампа горит слабее потому, что ее мощность
без нее ниже т нередко на 2 раза.
- b) Установим П в положение 3. Вкл тумблер. D_2
пропускает ток и лампа светится. При вкл-и
тока нет, поэтому это яв. блокирует весь
ток катушки
- c) Вкл, установку

Задание №2. Извлечение методом цепи-а измерения
макс. потока с помощью калориметра.



В задании 2, в частности, в месте тепло с макс
извлекают термостат калориметра.

на них выделяется тепло, которое идет в
кальориметр.

С рациональной стороны - это замечательно, "Так", разрез
кальориметра пропускает const T (температура). Но не
важно, "Так" или нет, мы можем это сделать в
измерительной схеме иначе. Так же не важно -
 $R_{\text{шн}} = 0,01 \Omega$. Макс. извлекаемое тепло W_m приблизительно
будет в зависимости от R максимум и на r кальориметра
 $W_m = Q_{\text{кал}} + Q_{\text{тер}}$; но не з. Тогда -
 $\frac{Q_{\text{кал}}}{Q_{\text{тер}}} = \frac{R}{r} \Rightarrow W_m = Q_{\text{кал}} \left(1 + \frac{r}{R}\right)$, но также

$$Q_{\text{кал}} = C_{\text{тн}} \Delta T$$

В результате выходит в формулу. Вспомним:
 $C_{\text{тн}} = k_n$, где n - конс-го гелия, на который
относится кальориметр, k - коэффициент
пропорциональности. Тогда в обозначении, n - температура
кальориметра в град. ег -

Учитывая изложенные выше:

$$W_m = Q_{\text{кал}} \left(1 + \frac{r}{R}\right) = k_n \left(1 + \frac{r}{R}\right)$$

к отрицательной величине, уменьшающейся калориметра.
 Для тока I в витках n имеем $W_m = \frac{I^2 n^2}{2}$ и при разных силах тока получим, что винчестер энергии в Ω и сюда зависимость W_m от I^2 .
 Зависимость должна быть линейной. Из уравнения находится L .

KDS

Задание №3. Изучение зависимости энергии от силы тока.

Таблица №2

$I, \text{ мА}$	$n, \text{ дел}$	$I^2, \text{ мА}^2$	$W_m, \text{ Дж}$
30	6	900	0,003003094
36	8	1296	0,004004125
42	11,5	1764	0,00575593
48	15	2304	0,007507735
54	18	2916	0,009009282
60	22	3600	0,011011345
66	26,5	4356	0,013263665
72	32,5	5184	0,016266759
78	36,5	6084	0,018268822

Задание №4. Градуировка калориметра.

Таблица №3

$U, \text{ В}$	$n, \text{ дел}$	$W_e = CU^2/2, \text{ Дж}$	$k, \text{ Дж/дел}$
20	38,5	0,0044	0,000114286
20	39	0,0044	0,000112821
$\langle k \rangle = 0,000113553$			

Задание №5. Передача энергии в трансформаторе

Таблица №4

n_1	n_2	n_2/n_1
42	36	0,857142857

Задание №6. Измерить индуктивность переменным током

Таблица №5.

$U_{R0}, В$	$U_0, В$	$L, Гн$
4	4,3	5,849130542

Задание №7. Обработать результаты измерений
задания №3

Таблица №6

Метод измерения	$L, Гн$
Калориметрический	6,116
Переменным током	5,849

Для расчета введен:

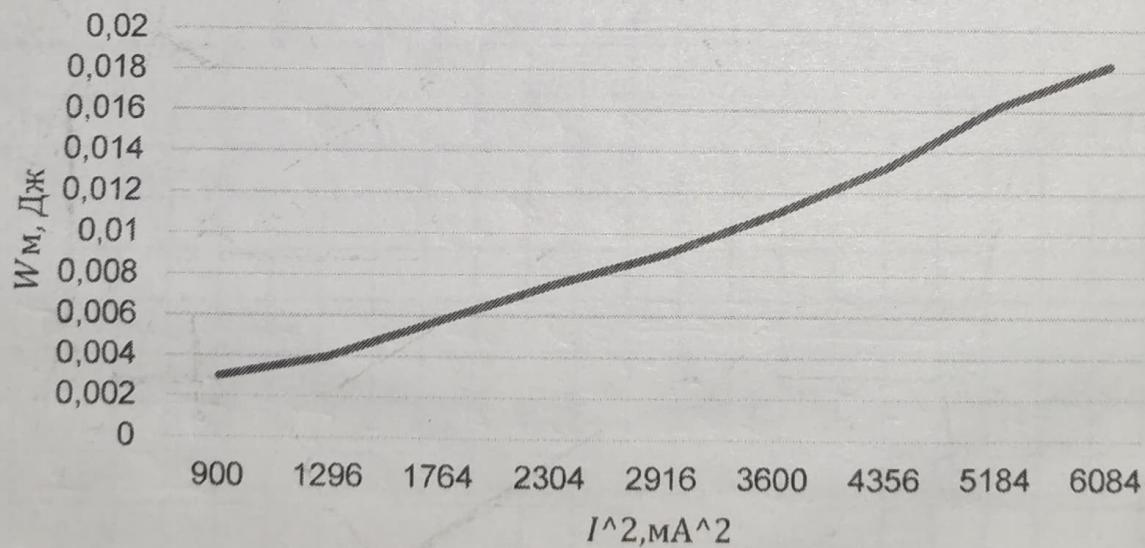
$$F: W_m = 110,1 \cdot 10^{-6} \text{ Дж}$$

$$y^2 = 3600 \text{ мА}^2$$

$$W_m = \frac{L y^2}{2} \Rightarrow L = \frac{2 W_m}{y^2} = \frac{2 \cdot 110,1 \cdot 10^{-6}}{3600 \cdot 10^{-6}} = 6,116 \text{ Гн}$$

Рассчитано значение в пределах нормы ($4,4\%$).
Магн. энергия измерена калориметрическим методом

Зависимость магнитной энергии W_m , Дж,
от квадрата силы тока I^2 , мА 2



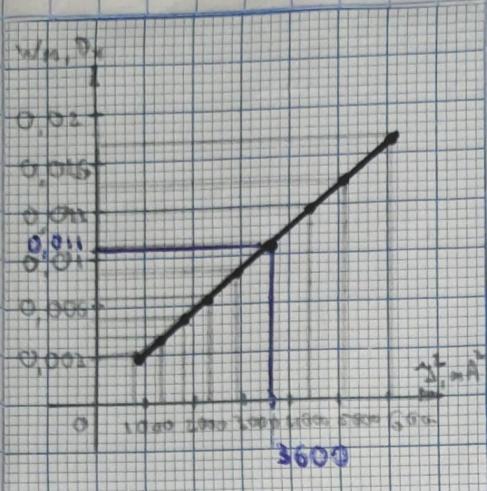


График $W_m (J^2)$ к
заданию № 7

- Вывод:
- Магн. энергия измеряется квадратичным
законом тока;
 - $W_m = \frac{L J^2}{2}$ $\Sigma S_i = - L \frac{dI}{dt} \quad J = L(r + R)$
 - В контуре с индуктивностью изменение
не проходит мгновенно (происходит
со временем из-за тока индукции)

З/к