

РАБОТА 12

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСНОВНЫХ СВОЙСТВ МАГНИТНОГО ПОЛЯ (закон полного тока)

Цель работы: Исследование магнитного поля, созданного круговым током, наблюдение вихревого характера магнитного поля, экспериментальное подтверждение закона полного тока.

Приборы и принадлежности: лабораторный макет установки для исследования магнитного поля кругового тока (рис. 1).

В работе используется планшет (1), с нанесенной на него координатной сеткой. На планшете установлено кольцо (2), внутри которого медным проводом намотана катушка.

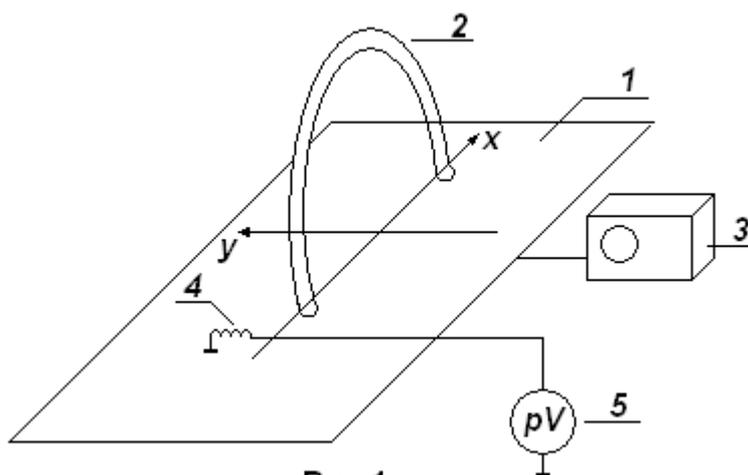


Рис 1

Кольцевая катушка (2) подключена к генератору (3), индукция магнитного поля, созданного током, протекающим в катушке (2), измеряется в разных точках планшета катушкой-датчиком (4), подключенной к измерительной схеме (5). В процессе измерения исследователь поворачивает датчик (4) в горизонтальной плоскости, добиваясь максимальных показаний вольтметра измерительной схемы. На корпусе датчика (4) нанесена стрелка, направление которой совпадает с осью катушки.

Помещая датчик в различные точки планшета, и, измеряя индукцию магнитного поля в данной точке, можно построить картину исследуемого поля.

Исследуемые закономерности

Магнитное поле кругового тока. Индукция магнитного поля, создаваемого током, протекающим в проводнике произвольной формы, в общем случае, может быть рассчитана с помощью закона Био – Савара – Лапласа

$$d\mathbf{B} = \frac{\mu\mu_0}{4\pi} \frac{I d\mathbf{l} \times \left(\frac{\mathbf{r}}{r}\right)}{r^2}.$$

Соответствующий расчет индукции магнитного поля на оси кругового тока (вдоль оси y на рис. 1) приводит к выражению

$$B_y = \frac{\mu\mu_0}{2} \frac{NIR^2}{\sqrt{(R^2 + y^2)^3}}, \quad (1)$$

где R – радиус кругового тока, I – сила тока, N – число витков в катушке. Легко видеть, что магнитное поле во всей плоскости витка симметрично относительно оси кругового тока, следовательно, везде в плоскости кругового тока вектор индукции поля перпендикулярен плоскости витка (также направлен вдоль оси y).

Соображения симметрии позволяют построить качественно картину магнитного поля, создаваемого круговым током. Напомним, что линиями индукции магнитного поля являются линии, касательные к которым в любой их точке совпадают с направлением вектора индук-

ции магнитного поля в этой точке, а густота линий пропорциональна значению величины магнитной индукции. Картину магнитного поля на плоскости можно наблюдать визуально, если на плоский немагнитный лист насыпать мелкие железные опилки.

Можно построить линию индукции, воспользовавшись следующим приемом. Расположить в произвольной точке плоскости датчик, измеряющий индукцию магнитного поля, таким образом, чтобы ось датчика показала направление вектора магнитной индукции в данной точке. После этого следует переместить датчик в направлении вектора магнитной индукции на небольшое расстояние и снова сориентировать его по направлению вектора индукции магнитного поля в этой точке. При аккуратном выполнении опыта датчик вернется в область вблизи исходной точки. Соединив полученные точки плавной кривой, получим замкнутую линию магнитной индукции

Напряженность магнитного поля. Циркуляция вектора напряженности. В магнитно-однородной среде магнитное поле удобно описывать вектором напряженности магнитного поля

$$\mathbf{H} = \frac{\mathbf{B}}{\mu\mu_0}.$$

Определенная таким образом величина, в данном случае не зависит от свойств среды, являясь характеристикой источников магнитного поля.

В однородной среде картина линий напряженности магнитного поля аналогична картине линий индукции. Замкнутость линий магнитного поля ассоциируется с вихревым характером этого поля и отсутствием магнитных зарядов.

Фундаментальным свойством магнитного поля является конечное, отличное от нуля значение циркуляции вектора напряженности поля, если через поверхность, натянутую на контур, в котором определялась циркуляция, протекают токи. Это свойство выражается соотношениями

$$\oint_L \mathbf{H} d\mathbf{l} = \sum_i I_i, \quad \text{а)}$$

$$\oint_L H dl \cos(\mathbf{H} d\mathbf{l}) = \sum_i I_i, \quad \text{б)}$$

$$\oint_L H_l dl = \sum_i I_i. \quad \text{в)}$$

Соотношения (2) являются, по сути, формулировками *закона полного тока*. Важно, что значение циркуляции вектора напряженности магнитного поля не зависит от формы контура и токов, протекающих вне его. Это свойство закона полного тока открывает широкие возможности для исследования магнитных полей и измерения токов.

Явление электромагнитной индукции. Процесс измерения значений индукции магнитного поля основан на использовании явления электромагнитной индукции

$$U = -\frac{d\Phi}{dt}.$$

Поскольку катушка, создающая исследуемое магнитное поле, питается переменным током частоты f , то

$$U = \frac{1}{\sqrt{2}} \pi f B S w, \quad (3)$$

где S – эффективная площадь сечения катушки датчика, w – число витков катушки.

Указания по выполнению наблюдений:

1. Включить генератор, питающий катушку кругового тока, измерить силу тока, протекающего в катушке. Поместить катушку-датчик в центр витка, поворачивая датчик в плоскости планшета, измерить максимальное значение напряжения, индуцированного в катушке. Пользуясь выражением (1) и параметрами макета, указанными на панели установки, вычислить значение индукции магнитного поля в центре витка и определить масштабные коэффициенты индукции (Тл/В) и напряженности (А/Вм) поля для данного макета. Здесь и далее координаты датчика определять по положению центра его проекции на плоскость планшета.
2. Поместить датчик в плоскость кругового тока внутри витка примерно на расстоянии 2 – 3 см от его корпуса. Записать координаты датчика и максимальное значение индуцированного напряжения. Переместить датчик в направлении стрелки-указателя на его корпусе на небольшое (0.5 – 1 см) расстояние и снова измерить координаты датчика и индуцированное напряжение, добившись максимальных показаний поворотом датчика вокруг вертикальной оси. Перемещая датчик, как указано выше, получить замкнутый контур, совпадающий с одной из линий индукции магнитного поля. Записать для нескольких точек значения индуцированного напряжения.
3. Снова поместить датчик в плоскость кругового тока, примерно в ту же точку, что и в п. 2. Записать координаты датчика и максимальное значение индуцированного напряжения. Далее перемещать датчик по прямоугольному контуру, охватывающему ток, небольшими отрезками, измеряя каждый раз составляющую индуцированного напряжения в направлении перемещения.

Задание на подготовку к работе:

1. Выполните индивидуальное домашнее задание.
2. Изучите описание лабораторной работы.
3. Запишите расчетные формулы для определения масштабных коэффициентов.
4. Выведите формулы для определения значений индукции и напряженности поля, а также их погрешностей, основываясь на величинах инструментальных погрешностей измерения индуцированного напряжения и координат.
5. Подготовьте бланк Протокола наблюдений, основываясь на содержании раздела «Указания по проведению наблюдений», разработайте и внесите в бланк Протокола наблюдений таблицы для записи результатов измерений, описанных в пунктах 1 - 4.

Задание по обработке результатов:

1. По данным таблиц наблюдений рассчитайте значение циркуляции в области, где проводились измерения (пункт 2 и 3). Сравните полученные результаты с измеренным значением тока в катушке.
2. Начертите на листе миллиметровой бумаги формата А4 эскиз установки с проекцией на его плоскость катушки кругового витка и осями координат. Нанесите на чертеж изображения контуров и векторы напряженности магнитного поля в 8 – 10 точках каждого контура.
3. Рассчитайте для выбранных векторов индукции погрешности их модулей, запишите полученные результаты в стандартном виде на чертеже, рядом с соответствующим вектором.
4. Сформулируйте выводы по проведенному исследованию.

Контрольные вопросы

1. Сформулируйте закон полного тока.
2. Объясните физический смысл величин индукции и напряженности магнитного поля.
3. Изобразите, качественно, линии индукции магнитного поля кругового тока.